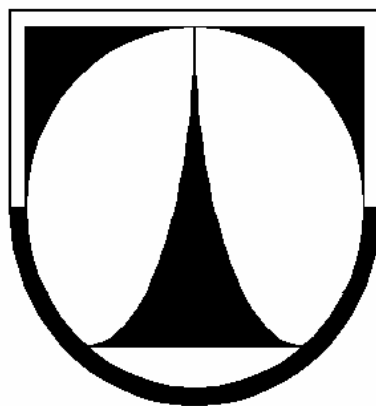


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Liberec 2008

Miroslav Balatka

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Studijní program: M2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 3902T005 – Automatické řízení a inženýrská informatika

**Vyhodnocování zásahů do terče pomocí metod pro zpracování
a rozpoznávání obrazu**

**Evaluation of the Hits to the Target by Means of the Methods
for the Image Processing and Recognition**

Diplomová práce

Autor:

Miroslav Balatka

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Josef Chaloupka, Ph.D.

Konzultant:

Ing. Jan Silovský

V Liberci dne 15.5.2008

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Ústav informačních technologií a elektroniky

Akademický rok: 2007/08

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: Miroslav Balatka

studijní program: M 2612 - Elektrotechnika a informatika

obor: 3902T005 - Automatické řízení a inženýrská informatika

Vedoucí ústavu Vám ve smyslu zákona o vysokých školách č.111/1998 Sb. určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Vyhodnocování zásahů do terče pomocí metod pro zpracování a rozpoznávání obrazu**

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte metody pro zpracování a rozpoznávání obrazů vhodné pro vyhodnocování zásahů do terče.
2. Seznamte se s vývojovým a programátorským prostředím Microsoft Visual C++.
3. Navrhněte a vytvořte program pro vyhodnocování zásahů do kruhového papírového terče a do „biatlonového“ terče.
4. V program by měl být použit takový algoritmus pro zpracování a rozpoznávání obrazu, aby bylo možné vyhodnocovat jednotlivé zásahy s velkou přesností.

Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace
Rozsah průvodní zprávy: cca 40 až 50 stran

Seznam odborné literatury:

- [1] HLAVÁČ V., SEDLÁČEK M.: Zpracování signálu a obrazu, Skripta FEL ČVUT, Praha 2000, ISBN 80-01-02114-9
- [2] ŠONKA, M., HLAVÁČ, V., BOYLE, R.: Image Processing, Analysis, and Machine Vision. PWS Publishing, USA, 1999, ISBN 0-534-95393-X
- [3] KRUGLINSKI, D., J., SHEPHERD, G., WINGO, S.: Programujeme v Microsoft Visual C++. Computer Press, Praha, 2000, ISBN 80-7226-362-5

Vedoucí diplomové práce: Ing. Josef Chaloupka, Ph.D.
Konzultant: Ing. Jan Silovský

Zadání diplomové práce: **31.10.2007**
Termín odevzdání diplomové práce: **16. 5. 2008**



Vedoucí ústavu



Děkan

V Liberci dne 31.10.2007

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení, apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne 15. května 2008

Podpis

:

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Josefu Chaloupkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky, trpělivost a ochotu během vedení mé diplomové práce. Dále děkuji Ing. Jiřímu Hořčíčkovi za konzultaci k realizaci Houghovi transformace. Poděkování také patří celé mé rodině, přátelům a všem, kteří mě podporovali během celého studia.

Abstrakt

Tato práce se zabývá zpracováním digitálních snímků střeleckých a biatlonových terčů. Cílem byla analýza těchto snímků a následné vyhodnocení střeleckých zásahů. Byla navržena a otestována řada podpůrných metod pro předzpracování snímků jako jsou segmentace a morfologické operace. Pro předzpracovaný obraz byly použity dvě techniky vedoucí k rozpoznání zásahů v biatlonovém terči. Jednak rozdíl dvou snímků a také Houghova transformace. Rozpoznání zásahů ve střeleckém terči bylo řešeno metodou rozdílu snímků. Analýza probíhala v programátorském prostředí Matlabu a posléze byl vytvořen program za pomoci Microsoft Visual Studio C++. Práce řeší s velmi vysokou přesností vyhodnocení zásahů do biatlonového terče. Zároveň analyzuje střelbu do kruhového střeleckého terče, včetně bodového ohodnocení jednotlivých zásahů. Analýza zásahů v papírovém terči je použita k doporučené korekci mířidel biatlonové malorážní zbraně Anschütz.

Klíčová slova: zpracování obrazu, biatlon, střelecké zásahy, morfologické operace, Houghova transformace.

Abstract

This work deals with a digital images processing of the shooting and biathlon targets. The aim was the analysis of these images and the subsequent evaluation of the shooting hits. There were specified and tested series of supportive methods for the images preprocessing as the segmentation and morphological operations are. For preprocessing image were used two techniques leading to the hits recognition in the biathlon target. Namely the method of two images difference as well as Hough transformation. Hits recognition in the shooting target was solved by the images difference method. Analysis proceeded in programming environment Matlab and then followed the programme creation by the help of the Microsoft Visual Studio C++. The work deals with the hits evaluation to the biathlon target with very high accuracy and at the same time analyses the shooting to the circular shooting target including items up of the single hits. Analysis of the hits in the paper target is used for the recommended correction of the sights of the biathlon small-bore rifle arm Anschütz.

Key words: image processing, biathlon, shooting hits, morphological operation, Hough transformation.

Obsah

1 Charakteristika biatlonu	13
1.1 Střelba v biatlonu	13
1.2 Základy teorie střelby	16
1.2.1 Vnitřní balistika	16
1.2.2 Vnější balistika	17
1.2.3 Základní hodnocení výsledků střelby	18
1.3 Druhy terčů	18
1.4 Míření.....	21
1.5 Seřízení mířidel.....	22
1.5.1 Svislé seřízení	23
1.5.2 Vodorovné seřízení	23
2 Použité techniky zpracování obrazu	24
2.1 Převod barevného snímku na černobílý.....	24
2.2 Segmentace prahováním	24
2.3 Matematická morfologie	27
2.3.1 Dilatace	28
2.3.2 Eroze	28
2.3.3 Otevření a uzavření.....	29
2.4 Identifikace oblastí.....	30
2.4.1 Výpočet těžiště oblastí.....	31
2.5 Metoda odečtení snímků	32
2.6 Houghova transformace	32
2.6.1 Příprava obrázků pro použití Houghovy transformace.....	32
2.6.2 Hledání přímky pomocí Houghovy transformace	33
2.6.3 Hledání kružnic pomocí Houghovy transformace	35
2.6.4 Hranové detektory a segmentace na základě detekce hran.....	36
3 Vyhodnocovací algoritmy.....	38
3.1 Postup řešení u sklapovacího terče metodou odečtení.....	38
3.1.1 Převod barevného snímku na černobílý.....	38
3.1.2 Odečtení snímků	39

3.1.3	Segmentace prahováním	41
3.1.4	Odstranění děr v objektech	43
3.1.5	Eroze	44
3.1.6	Identifikace sestřelených terčů	46
3.1.7	Výpočet těžiště oblastí	46
3.2	Postup řešení u papírového terče	47
3.2.1	Převod barevného snímku na černobílý	47
3.2.2	Odečtení snímků	48
3.2.3	Segmentace prahováním	49
3.2.4	Dilatace papírového terče	50
3.2.4	Eroze papírového terče	51
3.2.5	Identifikace a výpočet těžiště zásahů	52
3.2.6	Hledání středu terče	52
3.2.7	Hledání průměru terče	54
3.2.8	Bodové ohodnocení zásahů	56
3.2.9	Kriteria omezující rozpoznávání	57
3.3	Postup řešení u sklapovacího terče Houghovou transformací	58
3.3.1	Použití hranového detektoru	58
3.3.2	Houghova transformace	59
Závěr		62
Seznam literatury		63

Seznam obrázků

Obr. 1.1 - Faktory ovlivňující střelecký výkon v biatlonu podle [2]	15
Obr. 1.2 – Papírový terč [9]	20
Obr. 2.1 - Časté strukturní elementy	27
Obr. 2.2 – Sousedé při barvení oblastí	31
Obr. 2.3 - Přímka odpovídající rovnici (2)	34
Obr. 3.1 – Barevný snímek terče před střelbou	38
Obr. 3.2 – Barevný snímek terče po střelbě	38
Obr. 3.3 – Černobílý snímek terče před střelbou	39
Obr. 3.4 – Černobílý snímek terče po střelbě	39
Obr. 3.5 – Obraz po odečtení snímku před a po střelbě	39
Obr. 3.6 – Obraz rozdílu snímků po mírné manipulaci se stativem	40
Obr. 3.7 – Prahovaný snímek s vhodným prahem	41
Obr. 3.8 – Prahovaný snímek s příliš nízko zvoleným prahem	42
Obr. 3.9 – Prahovaný snímek s příliš vysoko zvoleným prahem	42
Obr. 3.10 – Objekty po dilataci	43
Obr. 3.11 – Posunutý snímek po dilataci	44
Obr. 3.12 – Snímek po erozi	45
Obr. 3.13 – Posunutý snímek po erozi	45
Obr. 3.14 – Snímek s obarvenými objekty	46
Obr. 3.15 – Výsledné zobrazení terče se zakreslením zasažených terčů	47
Obr. 3.16 - Barevný snímek terče před střelbou	47
Obr. 3.17 – Barevný snímek terče po střelbě	47
Obr. 3.18 – Černobílý snímek terče před střelbou	48
Obr. 3.19 – Černobílý snímek terče po střelbě	48
Obr. 3.20 – Obraz po odečtení snímku před a po střelbě	49
Obr. 3.21 – Prahovaný snímek papírového terče	50
Obr. 3.22 – Dilatace snímku papírového terče	51
Obr. 3.23 – Eroze snímku papírového terče	51
Obr. 3.24 - Prahovaný terč před střelbou	52
Obr. 3.25 - Dilatovaný terč před střelbou	53
Obr. 3.26 - Erodovalý terč před střelbou	54

Obr. 3.27 – Papírový terč se zakresleným středem, okrajem terče a zásahy	55
Obr. 3.28 – Výřez nesprávně identifikovaných zásahů	58
Obr. 3.29 – Snímek terče po průchodu hranovým detektorem	59
Obr. 3.30 – Snímek akumulátoru	60
Obr. 3.31 – Barevná stupnice závislosti na četnosti	60
Obr.3.32 – Zobrazení nezasažených terčů	61

Úvod

Cílem této diplomové práce je vyhodnocování zásahů do terče při biatlonu. Vyhodnocovány jsou jednak zásahy v kovovém a také v papírovém terči.

Střelbou do papírových terčů se provádí především nástřel zbraně, který je nutné učinit před každým závodem a tréninkem. Především vlivem rozdílné viditelnosti, ale i dalších aspektů, dochází k rozchodu záměrného bodu se středem terče. Smyslem nástřelu je nalezení centroidu zásahů a porovnání se středem terče. Následně se provádí úprava mířidel s cílem přiblížení zásahů středu terče. Určení těžiště zásahů a následná korekce mířidel se doposud v biatlonu provádí pouze odhadem a závisí především na zkušenosti trenéra. Tato práce rozpoznává jednotlivé zásahy, dopočítává centroidy a uvádí jednak doporučenou korekci mířidel a také bodové ohodnocení střelby s vysokou úspěšností vyhodnocení.

Rozpoznání zásahů do kovových terčů je na střelnicích určených pro závody Světového poháru realizováno pomocí dotykových čidel. Tyto kovové terče jsou dodávány jako sety, včetně automatického natahování terčů a kompletního softwaru pro řízení. Tomu také odpovídá jejich cena. Biatlonové kluby v českých podmínkách si tyto terče z finančních důvodů nemohou dovolit, proto používají terče s ručním natahováním bez jakéhokoli automatického vyhodnocení. Z toho důvodu je v práci řešeno vyhodnocování zásahů pomocí zpracování a rozpoznávání obrazu.

1 Charakteristika biatlonu

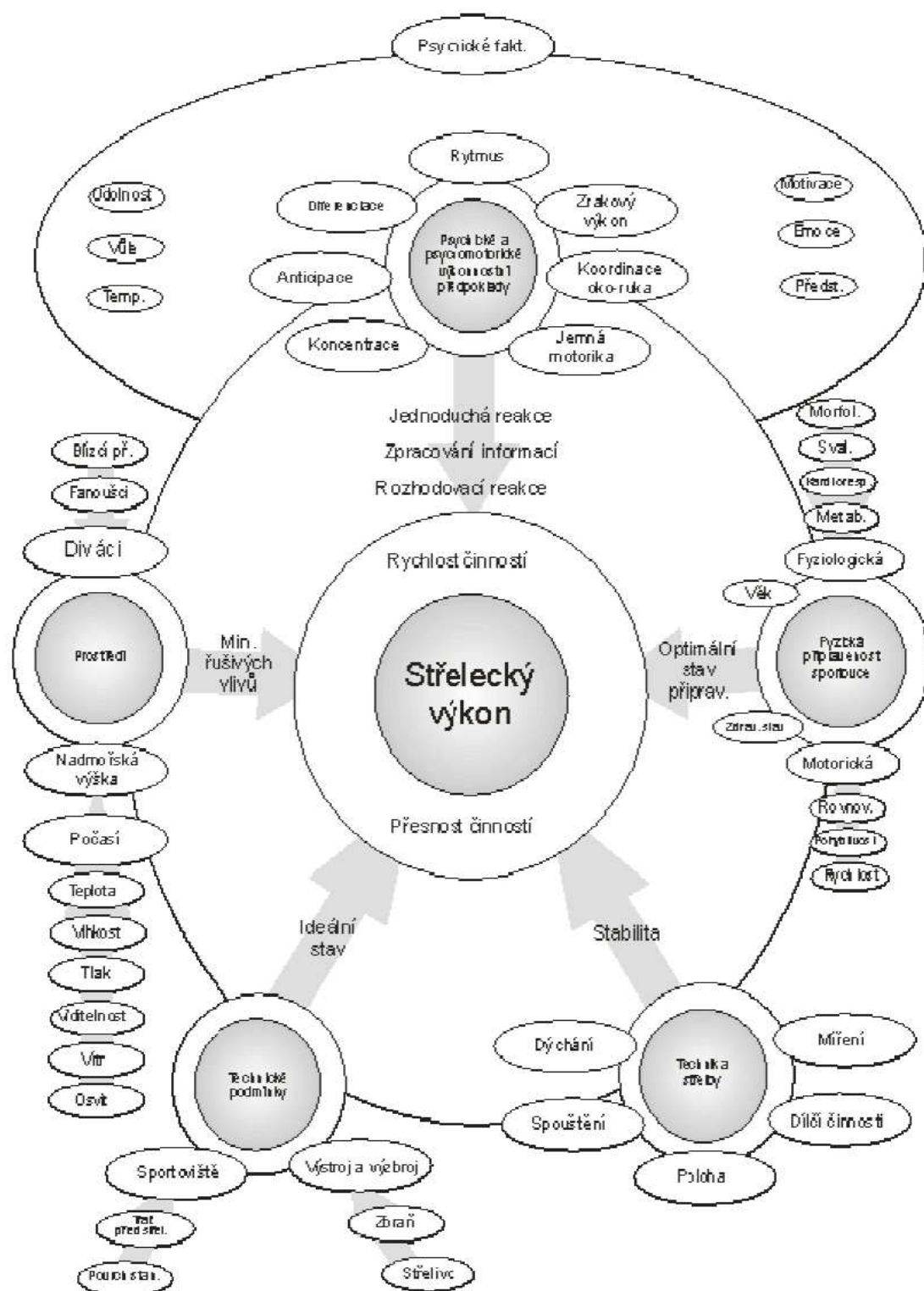
Historie sportu jménem biatlon není nikterak dlouhá, neboť je jedním z poměrně mladých sportů, jenž má podobně jako mnoho jiných zimních sportů kořeny a největší tradici ve Skandinávii. Protože ne všichni, kdo si tuto práci budou číst se musí biatlonu zákonitě věnovat, je na místě krátce vysvětlit, co tento název a sport obnáší.

Pojem biatlon je pravděpodobně složen z řeckého "bi"= dvoj a "áthlon"= zápas, boj. Jedná se tedy o dvojboj. A v čem tedy tento dvojboj spočívá? Je to kombinace běhu a střelby z malorážní pušky na terče tzv. "sklopky" vzdálené 50 metrů. "Bojuje se" ve dvou disciplínách, které nejsou samostatně oddělené, ale střelba je prováděna opakovaně v určitých úsecích běžecké tratě a čas potřebný ke střelbě se započítává do času běhu. V biatlonu se závodí v běhu na lyžích, při němž se na dvou, či čtyřech stanovištích (podle druhu závodu) střílí na pětice terčů.

1.1 Střelba v biatlonu

U biatlonu jsou požadavky na ovládání techniky střelby, zautomatizování úkonů, vysoké koncentrace apod., prakticky stejné jako u sportovní střelby, avšak přibývá požadavek trénovanosti běhu a schopnost rychlé změny dýchání a tepové frekvence v obdobích střelby a běhu. Základní rozdíl od sportovní střelby z malorážní pušky je také ve zvýšeném vlivu přírodních podmínek. Kompletní souhrn faktorů ovlivňující střelecký výkon biatlonisty nabízí obr. 1.1. Další rozdíl oproti sportovní střelbě je v taktice střelby, odlišnosti zbraní, jejich povolených technických parametrů a užívání střeleckých sportovních doplňků. Zásadní technicko taktické rozdíly pramení především z cíle střelby v biatlonu a způsobu jeho dosažení. Jedním je rozdíl ve způsobu nabíjení zbraně. Zatímco u sportovní střelby se nabíjí po jednotlivých ranách, v biatlonu se užívá zásobníku na 5 ran, avšak konstrukce zbraně neumožňuje automatické zasunutí náboje ze zásobníku do nábojové komory. Cíl střelby v biatlonu je také rozdílný, neboť se střílí po 5 ranách do 5 terčů umístěných vodorovně vedle sebe. Účelem zde není zasáhnutí co nejpřesnějšího zásahu, ale určitého středového průměru terče, jenž je rozdílný podle toho, zda se jedná o střelbu vleže, či vstoje. Zde tedy není poloha v

kleče. Dle disciplíny jsou celkem 2 nebo 4 střelecké položky a to střídavě vleže a vstoje. Cílem je pak zásah maximálního počtu terčů, tedy 5 u každé střelecké položky v co možná nejkratším čase. Není možné si bezprostředně před samotnou střelbou zkoušet a upravovat správnou střeleckou polohu. To již musí mít závodník tzv. dostatečně vžitě. Rovněž je prakticky vyloučené použití střeleckých kabátů, kalhot, bot a podobně. Je těžko představitelné, že by kvůli střelecké položce trvající řádově několik sekund měl závodník v tomto oblečení absolvovat trať o délce několika kilometrů. Co se týká pravidly povolených technických parametrů užívaných malorážních pušek, i zde jsou oproti sportovní střelbě některé rozdíly. V zásadě však lze říci, že oproti sportovní střelbě se v biatlonu používají pušky podstatně lehčí. Závodník se zbraní běží celou délku trati, přičemž jí má upevněnou na zádech. [1]



Obr. 1.1 - Faktory ovlivňující střelecký výkon v biatlonu podle [2]

1.2 Základy teorie střelby

V zásadě lze základy teorie střelby rozdělit na dvě části, vnitřní a vnější balistiku. Zabývají se procesy od zmáčknutí spouště až do dopadu kulky na terč.

1.2.1 Vnitřní balistika

Vnitřní balistika sleduje, popisuje a vysvětluje pohyb střely v hlavni, až k jeho ústí. Při výstřelu udělují střele plyny vzniklé při zažehnutí prachové náplně vysokou rychlost směrem vpřed. Střela se pohybuje tzv. translačním pohybem. Pro stabilitu dráhy je důležité, aby konala navíc rotační pohyb, čili se otáčela kolem své vlastní podélné osy. Tato rotace podstatně zvyšuje stabilitu střely a prakticky tak znemožňuje její převrácení za letu k cíli. Tímto podstatně stoupá přesnost střely. Rotační pohyb (většinou pravotočivý) získává střela ve vývrtu hlavně, do něhož se svými okraji zařezává, a tím je vedena šroubovicí vývrtu hlavně. Stoupání závitu šroubovice je různé podle druhu zbraně a podle počáteční rychlosti střely. U malorážek má většinou kolem 400 mm, což znamená, že při pohybu vpřed o 400 mm se střela jednou otočí kolem své osy. Rotační pohyb střely vpravo má vedle výhody stabilizace střely i negativní důsledky, kterými je v důsledku otáčení odklon doprava od výstřelné roviny. Odchylka je v podstatě dána nestejným tlakem na střelu zleva a zprava (na bok střely). Tato odchylka je však při střelbě z malorážky na vzdálenost 50 metrů zanedbatelná. Zpětný ráz zbraně je důležitým faktorem, se kterým je také nutné počítat. Je způsoben plyny tlačícími nejen na střelu vpřed, ale podle zákona akce a reakce i zpět na závěr zbraně. Střela tedy letí vpřed, ale současně se celá zbraň pohybuje vzad. Uvedený zákon nám poskytuje některé náměty pro praktické úvahy. Například, že zpětná rychlost zbraně bude klesat s rostoucí hmotností zbraně. Ovšem při těchto úvahách nesmíme také zapomínat na to, že závodník si svoji zbraň veze po celé délce tratě na zádech. Proto je nutné nalézt určitý kompromis. Zpětný ráz také způsobuje zdvih zbraně směrem nahoru. Tímto zdvihem zbraně vzniká úhel výstřelu. Je to úhel mezi záměrnou (prodloužená osa hlavně před výstřelem) a výstřelnou (prodloužená osa hlavně po výstřelu). Úhel zdvihu záleží mimo jiné na vzdálenosti opěrného bodu v rameni od průsečíku osy hlavně s ramenem. Čím je tato vzdálenost větší, tím větší je i úhel zdvihu. V okamžiku, kdy

hlavní prochází střela, vzniká tzv. chvění hlavně. Místo s největším rozkmitem nazýváme kmity, s minimálním uzly.

1.2.2 Vnější balistika

Vnější balistika se zabývá pohybem střely od okamžiku, kdy střela opustí hlaveň, až do okamžiku svého nárazu. Dráha střely netvoří přímku, ale poměrně plochou křivku -parabolu. Největší vliv na pohyb střely během jejího pohybu směrem k cíli má odpor vzduchu. Ten závisí na tvaru střely, ráži střely, rychlosti střely a hustotě vzduchu. Střelec je schopen ovlivnit rychlost střely výběrem nábojů. Umět se vyrovnat s vlivy hustoty vzduchu patří k umění střelce. V zimním období je hustota vzduch větší, čímž se zvyšuje odpor, což se projevuje nižšími zásahy při jinak stejných podmínkách. V letních podmínkách je tomu pochopitelně naopak. [3] uvádí, že jeden stupeň teplotního rozdílu od základní teploty 15° C snižuje nebo zvyšuje rychlost střely těsně před dopadem o 1 m/s. Větší odpor proti směru střely snižuje její rychlost a zásahy budou níže. Největší odchylku střely, na kterou musí umět střelec správně reagovat, je boční vítr.

tab. 1.1 - Odchylka střel působením bočního větru při střelbě z malorážky

Délka v metrech	Slabý vítr 2 m/s	Mírný vítr 4 m/s	Silný vítr 8 m/s
50	1,5 cm	3 cm	6 cm

I když je vystřelen větší počet ran za stejných meteorologických podmínek, se stejným střelivem a stejně upravené zbraně, nikdy se nedosáhne toho, aby všechny střely v terči dopadly na jednom místě. Tato skutečnost je označována jako rozptyl zásahu. Při praktické střelbě je velikost rozptylu ovlivňována technickou vyspělostí střelce, povětrnostními podmínkami, kvalitou střeliva a zbraně. Plocha, kterou jednotlivé zásahy zaujímají, je nazýváme obrazcem rozptylu. Všechny zásahy v obrazci jsou v okolí bodu, který je nazýván střed rozptylu – střední zásah (příp. centroid). Určení středního zásahu slouží k teoretickému posunu středního zásahu do středu terče.

1.2.3 Základní hodnocení výsledků střelby

Výsledek střelby je možné zhodnotit následujícím způsobem:

- Správná a přesná střelba – zásahy jsou seskupeny v co největší blízkosti vůči sobě a střední zásah je uprostřed nebo co nejbližší středu terče.
- Přesná a nesprávná střelba – zásahy jsou těsně vedle sebe, ale střední zásah se nachází mimo střed terče.
- Správná ale nepřesná střelba – obrazec rozptylu je velký, ale střední zásah je ve středu terče.
- Nepřesná a nesprávná střelba – zásahy jsou rozesety po celém terči, obrazec rozptylu je velký a střední zásah je mimo střed terče.

1.3 Druhy terčů

Pro trénink a závody v biatlonu se používají dva druhy terčů - kovové a papírové. Pro závody mohou být použity pouze kovové terče, pro nástřel zbraní pouze papírové. Oba druhy, kovové i papírové, se používají při tréninku. Výhodou použití papírových terčů je případný sběr terčů s možností pozdější manipulace a vyhodnocení.

Pro závody IBU (Mezinárodní biatlonová federace) se mohou používat pouze terče, které jsou v souladu s materiálovým katalogem IBU. Střelnice pro ZOH (Zimní olympijské hry), MS (Mistrovství světa), MSJ/D (Mistrovství světa juniorů a dorostenců) a závody SP (Světový pohár) musí mít nejméně 30 střeleckých stanovišť a terčů. Terče použité při ZOH a MS musí být dotykově nastavitelné (bez provazu). Pro všechny závodníky v jednom závodě musí být použity stejné terče. Terče musí být postaveny v rovné, přímé linii, rovnoběžně s přední hranou střelecké rampy. Musí být rovné ve všech směrech. Terče musí být umístěny tak, aby střední zaměřovací kruh terče byl ve středu šířky střeleckého stanoviště. Terče se nesmí odchylovat stranově více než 1 % od pravého úhlu příslušného střeleckého stanoviště. Střed terčů musí být o 80 -

100 cm výše než povrch střelecké rampy. Pozadí za terči musí být bílé od spodního okraje až do výšky 1 m nad horní hranou terče. Na závodech při ZOH a MS smí být použito pouze elektromechanické a elektronické terčové zařízení, které je v souladu s platným materiálovým katalogem IBU. Pro MS juniorů a dorostu, SP, kontinentální mistrovství a závody kontinentálních pohárů je povoleno použití mechanických terčů ručně ovládaných, ale přednost mají terčové zařízení elektromechanické a elektronické. Lanka pro ovládání terčů by měla být vedena tunely nebo trubkami pod prostorem střeleckých stanovišť tak, aby ovládání terčů probíhalo bez rušení závodníků.

V ČR jsou elektromechanická terčová zařízení pouze na dvou biatlonových střelnicích. Takto vybaveny jsou střelnice v Novém Městě na Moravě a v Jablonci nad Nisou. Elektronické vyhodnocení zásahů je tedy možné pouze v těchto areálech. Zapříčiněno je to především vysokou cenou. Cena jednoho střeleckého stanoviště se pohybuje kolem 5 000 eur.

Sklapovací terče mají čelní desku nabarvenou na bílo. Čelní deska je opatřena pěti otvory v horizontální řadě. V otvorech jsou černá místa na trefování (terče), které padají dozadu nebo vysílají elektronický signál, když je kulka zasáhne. Ve stejném okamžiku když je terč zasažen se zvedne před otvor bílá klopka. Ta způsobí změnu barvy z černé na bílou. Po skončení položce se zaznamená počet netrefených terčů. Terče mohou být mechanické nebo elektronické, ale v obou případech může být padající klopka znovu srovnána buď šňůrou nebo elektronickým signálem.

V následující tabulce (tab. 1.2) jsou detailně uvedeny všechny rozměry a rozložení terčových kruhů pro kovové terče. Průměry černých kruhů pro míření a zásahy jsou pro kovové terče tyto:

Tab. 1.2 - Rozměry terčových kruhů pro kovové terče podle Pravidel IBU [4]

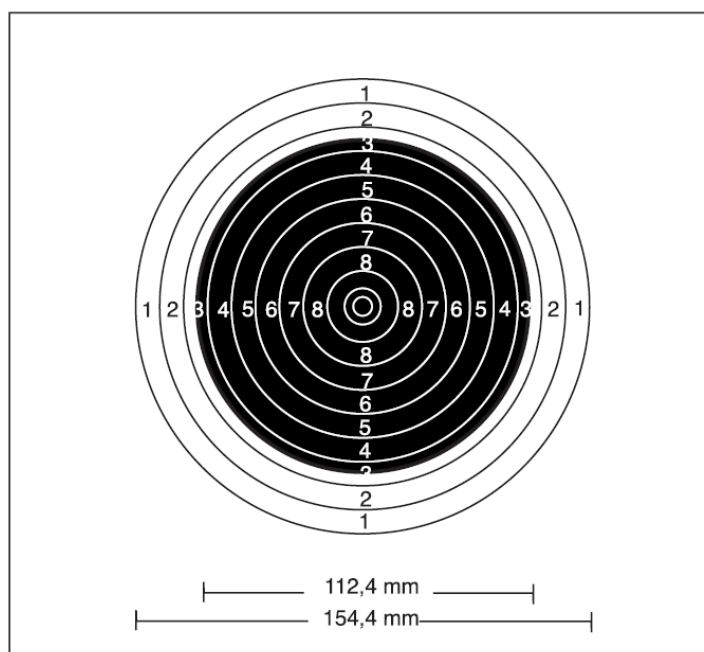
Střelecká poloha	Rozměry kovových terčů
Poloha vleže	záměrný kruh 115 mm
	kruh pro zásah 45m
Poloha vstoje	záměrný kruh 115 mm
	kruh pro zásah 115m

Úspěšnost střelby do kovového terče je vyjádřena počtem nezasažených terčů (viz. tab. 1.3).

Tab. 1.3 - Používané zkratky o úspěšnosti střelby v biatlonu

Označení	Vysvětlení označení
0	0 chyb - bezchybná střelba
1	1 chyba
2	2 chyby
3	3 chyby
4	4 chyby
5	5 chyb

Při střelbě do papírového terče se posuzuje blízkost zásahů od středu terče. Terč a jeho kruhové okolí je rozděleno na deset bodových úrovní (obr. 1.2).



Obr. 1.2 – Papírový terč [9]

Průměry kruhů jsou uvedeny v tab. 1.4. Pokud se střelba do papírového terče posuzuje jako u kovového terče (tzn. dobrá a špatná rána), odpovídají dobrému zásahu vleže trefené kruhy 10, 9, 8. Dobrému zásahu vstoje odpovídá černá část terče. Trefovaná oblast se u papírového terče jeví jako menší než u sklapovacího terče. To je dáno tím, že při střelbě do sklapovacího terče se počítá s tím, aby úspěšné rány byly i ty, co se okrajem pouze dotknou osmičkového kruhu resp. černé části terče. Jinými slovy je průměr terče zvětšen přibližně o poloměr náboje.

Tab. 1.4 – Průměry bodových kruhů u papírového terče na 50m [9]

kruh 10	10,4 mm	($\pm 0,1$ mm)	kruh 5	90,4 mm	($\pm 0,5$ mm)
kruh 9	26,4 mm	($\pm 0,2$ mm)	kruh 4	106,4 mm	($\pm 0,5$ mm)
kruh 8	42,4 mm	($\pm 0,2$ mm)	kruh 3	122,4 mm	($\pm 0,5$ mm)
kruh 7	58,4 mm	($\pm 0,5$ mm)	kruh 2	138,4 mm	($\pm 0,5$ mm)
kruh 6	74,4 mm	($\pm 0,5$ mm)	kruh 1	154,4 mm	($\pm 0,5$ mm)

1.4 Míření

Smyslem míření je zajistit přesné nastavení zbraně na cíl (terč). K tomuto účelu slouží oko střelce a mířidla zbraně, které za pomoci jemných korekcí držení zbraně se musí dostat do jedné přímky s cílem. Jak uvádí [5] principem míření je, bez ohledu na střeleckou polohu, vyrovnání hledí, mušky a záměrného bodu do jedné přímky, přičemž zamíření vyžaduje náročnou pohybově senzomotorickou činnost střelce, který musí vnímat nejen porušení vzájemné polohy mířidel, ale současně odpovídajícími pohyby obnovovat správný směr pušky vzhledem k záměrnému cíli.

V biatlonu je možné užít otevřených či dioptrických mířidel. Optická mířidla jsou zakázána. V současné době se téměř výhradně užívají mířidla dioptrická. Klasická otevřená mířidla se používají již jen výjimečně v žákovských kategoriích. U dioptrických mířidel s kruhovým hledím se užívá mušky kruhové nebo hranolové. Rozlišné jsou i průměry dioptrického otvoru, jejich výběr záleží na světelných podmínkách a na vzdálenosti oka od dioptru. Při snížené viditelnosti jsou voleny větší

průměry dioptrického otvoru. Pro kruhovou mušku platí, že menší průměr, tzv. přísný, je v zásadě přesnější. Při poloze vstoje, obzvláště při nedostatečném osvětlení je třeba většího průměru mušky, tzv. volného. Záleží tedy na vhodném kompromisu a individuálních potřebách pro přesné míření. Biatlonista by měl mít k dispozici náhradní kruhové mušky všech průměrů. V dnešní době jsou k dispozici tzv. „irisové“ mušky, na které se jedním pootočením dá nastavit různý průměr.

Není v silách střelce zajistit absolutně přesné zamíření, jelikož žádná ze střeleckých poloh nezajišťuje naprostou klidovou polohu zbraně. Z tohoto důvodu také střelec nemíří na záměrný bod, ale záměrnou oblast. Snaží se o to, aby oblast byla co nejmenší a záměrný bod byl v jejím středu.

Při míření se často negativně projevuje působení ostrosti světla a osvětlení terčů (sklopek). Je třeba si uvědomit, že osvětlení způsobuje přemístění středního zásahu a na základě tohoto opět korigovat mířidla, nebo místo záměrného bodu. Přímé osvětlení způsobuje přemístění středního zásahu vzhůru, bočního stranou, přičemž sluníčko tzv. přitahuje. [5]

1.5 Seřízení mířidel

Nastavením hlav mikrometrického šroubu hledí je možno provést korekci mířidel. Na pravé straně mířidel je hlava šroubu vodorovného posuvu a z vrchu je hlava výškové korekce. Směr přemístění zásahu je vyznačený na horní ploše klapky. Jeden krok, neboli „cvak“, činí u nejpoužívanějších malorážních zbraní Anschütz odchylku 4,5 mm na délku 50ti metrů v obou směrech, čili jedním pootočením seřizovacího šroubu měníme ostří nárazové pozice o 0,0495 mm. Protože malorážní zbraně Anschütz používá většina (cca 95%) biatlonistů ve všech věkových kategoriích, popisu odchylek mířidel ostatních zbraní nebude věnována pozornost.

1.5.1 Svislé seřízení

- 1) horní rány: otočením horním seřizovacím šroubem ve směru šipky ukazující na „H“
- 2) spodní rány: otočením horním seřizovacím šroubem ve směru šipky ukazující na „T“

1.5.2 Vodorovné seřízení

- 1) pravé rány: otočením postraním seřizovacím šroubem ve směru šipky ukazující na „R“
- 2) levé rány: otočením postraním seřizovacím šroubem ve směru šipky ukazující na „L“

2 Použité techniky zpracování obrazu

2.1 Převod barevného snímku na černobílý

Převodem barevného snímku na černobílý je získáno zobrazení na základě jasových řezů. Jako první je dobré pojem jasový řez definovat. Je to zobrazení hodnoty jasu vybraných bodů obrazové matice, jako jednorozměrný signál. Vybrané body leží na přímce, která prochází obrazovou maticí. Pro přepočít barevných pixelů na černobílé se používá následující vztah.

$$Grey = 0.299 * R + 0.597 * G + 0.114 * B \quad (2.1)$$

Kde R je zastoupení červené složky v obraze, G je zastoupení zelené složky v obraze a B vyjadřuje obsah modré složky v obraze.

2.2 Segmentace prahováním

Nejjednodušším segmentačním postupem je prahování. Touto segmentací je možné využitím určené jasové konstanty prahu oddělit objekty od pozadí. Prahování je nejstarší segmentační metodou a v jednoduchých případech je i nadále užíváno. Vzhledem k výpočetní náročnosti je nejrychlejší segmentační metodou, lze ji provádět v reálném čase. V ideálním případě je výsledkem prahování kompletní segmentace do oblastí.

Prahování je transformace vstupního obrazu f na výstupní (segmentovaný) binární obraz g podle vztahu:

$$g(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{pro } f(i, j) \geq T \\ 0 & \text{pro } f(i, j) < T \end{cases} \quad (2.2)$$

Kde T je předem určená konstanta nazvaná práh a $g(i,j)=1$ pro obrazové elementy náležející po segmentaci objektům, a $g(i,j)=0$ pro elementy náležející pozadí. Příkladem, kde je vhodné aplikovat prahování je situace, kde jsou objekty výrazně jasově odlišené od pozadí. Správná volba prahu je pro úspěšný výsledek prahování zásadní. Hodnotu prahu lze určovat interaktivně nebo pomocí některé z metod automatického určování prahu. Jen málokdy je možné úspěšně prahovat s tímž prahem v celé ploše obrazu, dokonce ani ve zcela jednoduchých scénách nemusí dát globální prahování s jediným prahem požadované segmentační výsledky. To je způsobeno změnami jasů objektů i pozadí zaviněnými například nerovnoměrností osvětlení či nestejnými vlastnostmi snímacího zařízení v ploše obrazu. Tehdy je vhodné použít prahování s proměnným prahem, kdy hodnota prahu je určována podle lokálních vlastností obrazu.

Zatímco globální práh je určován z celého obrazu $T = T(f)$, je lokální práh funkcí polohy:

$T = T(f, f_c)$ Kde f_c je část obrazu, pro níž je práh určován. Jednou z možností volby části obrazu f_c je rozdělení obrazu na části obrazu a určení prahu nezávisle v každém z nich. Pokud v některé z částí obrazů postup určování lokálního prahu selže, lze použít práh získaný interpolací sousedních prahů. Každá část obrazu je prahována lokálním prahem.

Prahování podle vztahu (2.2) je záhladní formou, k níž existuje mnoho modifikací.

Podle vztahu:

$$g(i, j) = \begin{cases} 0 & \text{pro } f(i, j) \in D, \\ 1 & \text{jinak} \end{cases} \quad (2.3)$$

Kde D je jistá množina úrovní jasu, lze segmentovat obraz f na oblasti, jejichž jas je z množiny D , a na ostatní oblasti (pozadí z hlediska segmentačního kritéria). Toho je možné využít například pro segmentaci mikroskopických snímků krevních buněk, v nichž se cytoplazma jeví v určitém intervalu úrovní jasu, zatímco pozadí je světlejší a jádro naopak tmavší. Takto definované prahování je použitelné i pro detekci hranic objektů. Je předpoklad, že jde o tmavé objekty na světlém pozadí a že některé

hodnoty jasu mezi hodnotami pozadí a hodnotami objektů se vyskytují pouze na hranicích mezi objekty a pozadím. Pokud z těchto mezilehlých hodnot jasu je konstruována množina D a prahována podle (2.3), výsledkem jsou hranice objektů.

Jinou modifikací je prahování s více prahy, kdy výsledkem již není binární obraz, ale obraz s velmi omezeným počtem jasových úrovní .

$$g(i,j)= \begin{cases} 1 & \text{pro } f(i,j) \in D_1, \\ 2 & \text{pro } f(i,j) \in D_2, \\ \vdots & \vdots \\ n & \text{pro } f(i,j) \in D_n, \\ 0 & \text{jinak} \end{cases} \quad (2.4)$$

Kde D_i je podmnožina jasových úrovní. Zvláštním případem definice podmnožin D_i je poloprahování užívané při vizuálním hodnocení výsledků člověkem.

$$g(i,j) = \begin{cases} f(i,j) & \text{pro } f(i,j) \in D, \\ 0 & \text{jinak} \end{cases} \quad (2.5)$$

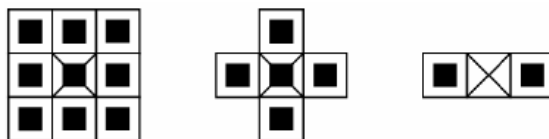
Tak lze získat obraz, v němž bylo odstraněno pozadí, avšak v objektech byla zachována informace o rozložení jasu.

Kromě prahování obrazu na základě jeho jasových charakteristik je možné aplikovat tento přístup, i když hodnoty $f(i,j)$ nemají význam úrovně jasu, ale například význam hodnoty gradientu, lokální texturní vlastnosti, nebo když $f(i,j)$ představuje hodnotu libovolného kritéria dekompozice obrazu. [6]

2.3 Matematická morfologie

Metody matematické morfologie se užívají především pro předzpracování, pro zdůraznění struktury objektů (kostra, ztenčování, zesilování, výpočet konvexního obalu, označování objektů) a popis objektů číselnými charakteristikami (plocha, obvod). Matematická morfologie vychází z vlastností bodových množin. Lze zpracovávat jak obrazy s více úrovněmi jasu, tak i binární obrazy. Spojitou obrazovou funkci s více úrovněmi jasu v rovině lze chápat jako bodovou množinu v trojrozměrném prostoru, přičemž třetí rozměr odpovídá jasu. Reprezentace bodovými množinami je analogická jako u spojitých funkcí. Ke každému bodu v prostoru lze najít libovolně blízký bod.

V této práci je použita pouze binární morfologie, proto se na ni v následujícím textu zaměříme. Zpracování binárního obrazu se chápe jako činnost s bodovými množinami X , které reprezentují objekty, a práce s množinami Y reprezentujícími pozadí. K pozadí řadíme i díry v objektech. Přírodním nástrojem pro matematický popis objektů v rovině je Euklidův dvojrozměrný prostor se systémem všech podmnožin. Binární obraz je reprezentován bodovou množinou. V digitálním zpracování obrazu se používá diskrétní vyjádření bodových množin. Body příslušející objektům jsou označeny 1 a jsou popsány dvojicí svých celočíselných souřadnic reprezentující řádek a sloupec. Body spadající do pozadí jsou doplnkem k množině objektů a jsou označovány 0. Počátek souřadnic bývá označován dvojitým přeškrtnutím z rohu do rohu.



Obr. 2.1 - Časté strukturní elementy

Prakticky používané morfologické transformace jsou realizovány jako relace obrazu (bodové množiny X) s jinou menší bodovou množinou B , které se říká strukturní element. Na obrázku 2.1 je příklad často používaných strukturních elementů. Na posledním strukturním elementu je vidět, že počátek nemusí být vždy bodem strukturního elementu. Elementy, které mají stejné vlastnosti pro různé směry, jsou

nazývány izotropické. Morfologickou transformaci si lze představit, jako by se strukturní element B systematicky pohyboval po obraze. Bod obrazu, který se shoduje s počátkem souřadnic strukturního elementu, je okamžitý bod. Výsledek relace mezi obrazem a strukturním elementem může nabýt hodnoty 0 nebo 1 a je zapsán do okamžitého bodu obrazu. [7]

Základními transformacemi matematické morfologie jsou dilatace, eroze, otevření a uzavření.

2.3.1 Dilatace

Dilatace skládá body dvou množin pomocí vektorového součtu. $X \oplus B$ je bodovou množinou všech možných vektorových součtů pro dvojice pixelů, vždy pro jeden z množiny X a jeden z množiny B . Po dilataci jsou objekty zvětšeny, což znamená, že k objektu je přidána slupka. Je-li vzdálenost mezi dvěma objekty menší než dvojnásobná tloušťka slupky, objekty se spojí. Je-li otvor v objektu užší než dvojnásobná tloušťka slupky, zmizí z obrazu. Pokud je účelem dilatací zvětšené objekty zmenšit do původního rozměru, použije se eroze (bezprostředně po dilataci). V případě, že počátek není prvkem strukturního elementu, dochází k narušení souvislosti objektu.

2.3.2 Eroze

Eroze je duální transformací k dilataci. Eroze skládá dvě bodové množiny s využitím rozdílů vektorů. Tato transformace není inverzní transformací k dilataci. Je definována jako $X \ominus B$. Používá se pro zjednodušení struktury objektů, složitější objekt se rozdělí na několik jednodušších. Objekty se po provedení eroze zmenší, neboť se ubere slupka z jejich okrajů. Je-li objekt nebo úzký výběžek menší, než ubíraná šířka, zmizí z obrazu. S erozí je možné snadno a rychle najít obrysy objektů v obraze. Jednou možností je odečíst od původního obrazu obraz erodovaný.

2.3.3 Otevření a uzavření

Kombinace dilatace a eroze tvoří další významné morfologické operace – otevření a uzavření. Výsledkem obou je zjednodušený obraz, který obsahuje méně detailů. Eroze následovaná dilatací je otevřením. Otevření množiny X strukturním elementem B se označuje $X \circ B$ a je definována jako:

$$X \circ B = (X \ominus B) \oplus B \quad (2.6)$$

Dilatace následovaná erozí je uzavřením. Uzavření množiny X strukturním elementem B se označuje $X \bullet B$ a je definována jako:

$$X \bullet B = (X \oplus B) \ominus B \quad (2.7)$$

Pokud se obraz X nezmění po otevření strukturním elementem B , lze říci, že je otevřený vzhledem k B . Podobně, pokud se obraz X nezmění po uzavření strukturním elementem B , lze říci, že je uzavřený vzhledem k B .

Otevření a uzavření izotropickým strukturním elementem je používáno pro odstranění detailů v obraze, které jsou menší než je strukturní element. Celkový tvar objektu se tak neporuší. Otevření oddělí objekty spojené úzkou šíjí a tak zjednoduší strukturu objektu. Uzavření spojí objekty, které jsou blízko u sebe, zaplní malé díry a vyhladí obrys tím, že zaplní úzké zálivy. Na rozdíl od eroze a dilatace je otevření a uzavření invariantní vzhledem k posunu strukturního elementu. Otevření je antireflexní zobrazení:

$$X \circ B \subseteq X \quad (2.8)$$

Uzavření je extenzivní uzavření:

$$X \subseteq X \bullet B \quad (2.9)$$

Další důležitou vlastností otevření a uzavření je idempotentnost, což znamená, že opakované použití těchto operací nemění předchozí výsledek. Proto má smysl mluvit o otevřené či uzavřené množině vzhledem ke strukturnímu elementu B .

$$X \bullet B = (X \bullet B) \bullet B \quad (2.10)$$

$$X \circ B = (X \circ B) \circ B \quad (2.11)$$

2.4 Identifikace oblastí

Identifikace je nutným předpokladem k popisu objektů. Dává možnost jednoznačné odvolávky, neboli ukazatele na každou oblast obrazu. Obvykle každá oblast je označena neopakujícím se přirozeným číslem. Přičemž pozadí má číslo 0 a oblastem jsou přiřazena čísla od 1, takže největší identifikační číslo oblasti může udávat počet oblastí v obraze. Tato identifikace je nazývána barvením.

Nabízí se ještě jiná možnost barvení oblastí. Za použití menšího počtu identifikačních čísel zajistit pouze to, aby dvě sousední oblasti neměly stejné identifikační číslo. Na to by měli postačit čtyři čísla pro barvení. Pro tuto identifikaci je nutné někde ukládat informaci o poloze některého bodu každé oblasti. Z tohoto důvodu se tato metoda příliš nepoužívá a mnohem více se užívá metoda kdy je každé oblasti přiřazeno jiné číslo. [8]

Při barvení je zpravidla procházen obraz po řádcích od shora dolů a zprava doleva. Každému nenulovému obrazovému elementu je přiřazena hodnota podle hodnoty všech jeho již obarvených sousedů.

- Jsou-li barvy sousedů nulové, bodu je přiřazena dosud nepřidělená barva.
- Pokud je jeden soused nenulový, nebo je více sousedů nenulových, ale mají stejnou barvu, bodu je přiřazena tato barva.
- Pokud je více nenulových sousedů s různou barvou, bodu je přiřazena jedna z těchto barev a barvy jsou zaznamenány do tabulky ekvivalencí (kolize barev).

Na obrázku 2.2 je znázorněna pozice sousedů, které při barvení bereme v úvahu.

$(i-1, j-1)$	$(i-1, j)$	$(i-1, j+1)$
$(i, j-1)$	(i, j)	

Obr. 2.2 – Sousedé při barvení oblastí

Ke kolizi barev dochází v praxi poměrně často. Proto po prvním obarvení jednotlivých oblastí, je obraz procházen podruhé a kolizní oblasti jsou přebarveny na jedinečnou, v jiné oblasti se nevyskytující barvu. Pokud je účelem barvení zjistit počet objektů, je nutné při přebarvování přidělovat barvy z množiny přirozených čísel vzestupně tak, aby žádné číslo nebylo vynecháno.

2.4.1 Výpočet těžiště oblastí

Po barvení jsou jasně odlišené jednotlivé objekty. Díky tomu je možné pro výpočet těžiště obrazu o velikosti $M \times N$ použít následujícího vzorce:

$$m_{pq} = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} x^p y^q g(x, y) \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} \text{Když } f(i,j)=b, \text{ pak } g(i,j)=1 \\ \text{jinak } g(i,j)=0 \end{aligned} \quad (2.13)$$

Souřadnice těžiště oblasti pak lze dopočítat podle vzorců:

$$x_t = \frac{m_{10}}{m_{00}} \quad y_t = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (2.14)$$

Přičemž m_{10} a m_{01} značí součet x souřadnic resp. y souřadnic všech bodů příslušejících dané oblasti a m_{00} je součet všech bodů dané oblasti.

2.5 Metoda odečtení snímků

Metoda odečtení snímků se využívá v případě, kdy je potřeba mezi dvěma snímky zjistit buď určitý pohyb, nebo změnu uspořádání. Pro odečtení se většinou používají černobílé snímky. Zpravidla je odečítán snímek s nižšími jasy od snímku s vyššími jasy. Podstatné jsou jasové úrovně rozpoznávaných objektů, nikoli celého snímku. Pokud se světelné podmínky na obou snímcích nemění, tak na snímku vzniklém rozdílem jsou viditelné pouze objekty, které se nevyskytují na obou snímcích. Zbytek snímku má velmi nízkou či nulovou jasovou hodnotu.

2.6 Houghova transformace

Houghova transformace je obecná metoda sloužící k hledání definovaných objektů v obrázku. Protože vyžaduje, aby hledaný objekt byl parametricky popsán, slouží klasická Houghova transformace především k detekci útvarů jako jsou úsečky, kružnice, elipsy atd. Zobecněná Houghova transformace však může být použita také tam, kde není možný jednoduchý, analytický popis objektu. Houghova transformace má mnoho praktických aplikací. Hlavní výhoda této transformace je určitá tolerance rozdílů rozpoznávaných objektů oproti jejich parametrickému popisu a relativní odolnost proti zašumění vstupního obrázku.

2.6.1 Příprava obrázků pro použití Houghovy transformace

Obrázky vstupující do Houghovy transformace je nutné nejprve upravit. Nejříve je obrázek uložen do proměnné a následně je převeden do binárního obrázku, protože implementace Houghovy transformace akceptuje jako vstup pouze binární obrázky. U převodu do binárního obrázku je ručně nastavena hodnota prahu, která

určuje hranici mezihodnotami jasů, které jsou převedeny na logické hodnoty nula, respektive jedna. Tato hodnota je nastavena tak, aby se v binárním obrázku objevilo co nejméně šumu, ale současně musí být zachovány všechny objekty. Zde je zapotřebí buď jistá zkušenost, anebo nutnost chvíli experimentovat s hodnotami prahu. Dále je vhodné obrázek upravit tak, aby hodnotě jedna odpovídaly objekty a hodnotě nula pozadí. Takto získaný obrázek již lze použít jako vstup do transformace. Je možné obrázek dále upravovat, aby se odstranil šum a získaly se hranice objektů s tloušťkou jedna, čímž se dosáhne kratšího času vykonávání algoritmu transformace. V některých případech navíc i přesnějších výsledků. Díky jednotkové tloušťce hranice je zpracováváno algoritmem výrazně méně pixelů náležejících zkoumaným objektům.

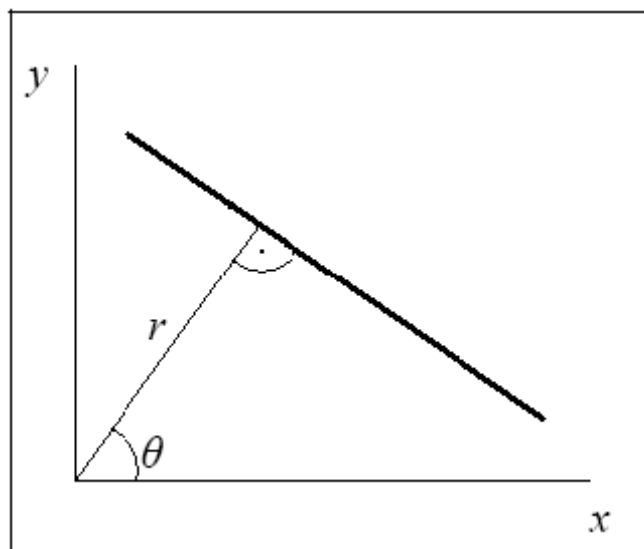
2.6.2 Hledání přímky pomocí Houghovy transformace

Pro lepší srozumitelnost bude vysvětlena nejdříve transformace na úloze hledání úseček, respektive přímek, což je nejjednodušší případ použití. Jak již bylo zmíněno, Houghova transformace je založena na parametrickém popisu objektů. Pro tento účel se použije rovnice přímky. Všeobecně známá rovnice přímky má tvar:

$$y = kx + q \quad (2.15)$$

Rovnice přímky v tomto tvaru je ale nepoužitelná, protože intervalem možných hodnot parametru k , který představuje směrnici přímky, je celá množina reálných čísel, a to vylučuje praktickou realizaci transformace. Rovnice přímky, která je použitelná je v normálovém tvaru:

$$r = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (2.16)$$



Obr. 2.3 - Přímka odpovídající rovnici (2.16)

Jak je zřejmé z obrázku 2.3, parametr r představuje vzdálenost přímky od počátku. V digitálním obrázku jsou rozměrem pixely, a úhel θ svírají osa x a kolmice vztyčená k přímce procházející počátkem. Intervaly těchto dvou parametrů jsou omezené pro celou množinu všech přímek. Volba těchto dvou intervalů je možná dvěma způsoby. První možností je interval $<0; 360)$ pro úhel θ , parametr r poté nabývá pouze kladných hodnot, teoreticky až do velikosti úhlopříčky obrázku. Druhou variantou je možnost uvažovat i zápornou hodnotu parametru r , konkrétně tedy dvojnásobný interval oproti první možnosti čímž je interval úhlu θ zredukován analogicky na polovinu, tedy $<0; 180)$. Pro náš případ je vhodnější první verze kvůli použití Matlabu, který umožňuje pouze kladnou indexaci od jedničky.

Před aplikací transformace se nejprve nadefinuje prostor obsahující všechny možné hodnoty parametrů hledaného objektu, který se nazývá akumulátor. Tento prostor je reprezentován n dimenzionální maticí, kde počet dimenzí n je určen počtem parametrů objektu. V případě úsečky jsou to samozřejmě parametry r a θ , které budou představovat souřadnice akumulátoru. Na počátku musí být všechny hodnoty akumulátoru shodné, obvykle se volí nula. Transformace funguje tak, že se prochází systematicky vstupní obrázek pixel po pixelu. Pokud je nalezen pixel objektu, v našem nejjednodušším případě je vstupem binární obrázek, tudíž pozadí odpovídá hodnotě nula, objekt odpovídá hodnotě jedna, dosazuje se do rovnice (2.16). Proměnné x a y jsou souřadnice nalezeného pixelu. Za proměnnou θ se postupně dosazují všechny hodnoty jejího intervalu vycházející z akumulátoru a hodnota r je vypočítávána. Druhá možnost

je dosazovat za r a počítat parametr θ , ale k tomu je potřeba provést explicitní vyjádření, protože v rovnici (2.16) je θ obsažena implicitně. Pro dvojici takto získaných hodnot $[r, \theta]$ se přičte konstanta, nejčastěji jednička, na příslušné místo do akumulátoru. Hodnoty se tedy akumulují, proto je matice parametrů nazvaná akumulátor.

Po projití celého obrázku se z akumulátoru vyberou lokální maxima, která definují jednotlivé objekty. Z toho vyplývá, že v případě obrázků s různými velikostmi objektů, tedy například úseček různých délek nebo kružnic s různými poloměry, mohou lokální maxima dosahovat různých hodnot. Zjednodušeně řečeno, lépe detekovány jsou vždy ty objekty, které jsou tvořeny nejvíce pixely, protože jim odpovídá větší maximum v akumulátoru. Zvláště v případě, kdy je rozdíl lokálních maxim výrazný, je důležité použít pro jejich detekci vhodný algoritmus.

2.6.3 Hledání kružnic pomocí Houghovy transformace

K hledání kružnic se použije opět analytický popis, tedy rovnice kružnice ve tvaru:

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2 \quad (2.17)$$

Rovnice kružnice je přímo použitelná v této podobě pro aplikaci Houghovy transformace. Počet neznámých ve srovnání s přímkou vzrostl o jedna na hodnotu tři, logicky je tedy i akumulátor třírozměrný. Tudíž i výpočetní náročnost se zvýšila obecně o jeden řád. Parametry jsou střed kružnice o souřadnicích $[a, b]$ a poloměr r . Intervaly hodnot parametrů lze zvolit podle požadavků uživatele a nastavení není předem jednoznačně dáno. Lze umožnit i detekci kružnic, které nebudou v obrázku zakresleny celé, což vyplývá z principu transformace. Základní volby intervalů pro souřadnice středu požadovaly přítomnost středu kružnice v obrázku. Interval středu byl nastaven tak, aby se kružnice s největším poloměrem mohla vejít celá do obrázku. Algoritmus

Houghovy transformace je obdobný s variantou hledání přímek, proto nebude princip znovu vysvětlován.

Důsledkem robustnosti transformace v podobě tolerance rozdílů objektů a odolnost proti zarušení je vysoká výpočetní náročnost algoritmu. U větších obrázků se výpočetní časy mohou pohybovat řádově v minutách. Za tímto účelem je výhodné algoritmus optimalizovat. První úpravou je možnost uživatelského nastavení rozsahu detekovaných poloměrů, což vyplývá z praktického použití transformace, kde většinou očekáváme objekty přibližně předem známých poloměrů.

Poslední fází algoritmu je získání parametrů kružnic představovaných lokálními maximy akumulátoru. Pro tento účel bylo použito prahování akumulátoru na základě uživatelem zadané hodnoty a postupné hledání a následné nulování globálních maxim, což se ukázalo jako nejefektivnější a plně dostačující způsob. [10]

2.6.4 Hranové detektory a segmentace na základě detekce hran

Místa v obraze, kde se náhle mění hodnota jasu se označují jako hrany. Hrana v obraze je dána vlastnostmi obrazového elementu a jeho okolí. Je to vektorová veličina a je určena tím, jak se náhle mění hodnota obrazové informace. K matematickému popisu se používá parciálních derivací, které jsou určeny pro vyjádření změn funkce dvou proměnných. Změnu funkce udává její gradient, vektorová veličina ∇ , určující směr největšího růstu funkce (směr gradientu) a strmost tohoto růstu (modul gradientu). Hranami jsou pixely s velkým modulem gradientu. Mezi nejznámější hranové detektory patří Prewitt, Sobel a Canny.

Segmentace na základě detekce hran vychází ze skutečnosti, že hranice oblastí v obraze se skládají z hran, které jsou nalezeny aplikací některého z hranových operátorů. Takto nalezené hrany označují místa v obraze, kde dochází k jisté nespojitosti – obvykle v hodnotě jasu, nebo v barvě či textuře.

Obraz, který vznikne aplikací hranového operátoru, je jako výstup segmentace ve své prvotní podobě téměř nepoužitelný. Proto po detekci hran následuje další

zpracování, které tyto hrany spojuje do řetězců lépe odpovídajících původní hranici. Nejčastějším problémem hranových segmentačních metod je výskyt hran v místech, kde není skutečná hranice, a naopak absence hran tam, kde hranice ve skutečnosti probíhá.

Nejčastěji používanými metodami jsou prahování obrazu hran, kdy se nevýznamné hrany vzniklé vlivem šumu odstraňují prahováním vhodným prahem. Další metodou je sledování hranice, jejíž cílem je určit vnitřní hranice všech oblastí obrazu, nebo heuristické sledování hranice, kdy se využívá znalosti určitých vlastností hranice. V případě, že obraz obsahuje předměty jejichž tvar a velikost jsou známy, chápeme segmentaci jako úlohu nalezení daného předmětu v obraze. Pak lze použít Houghovu transformaci, která vychází ze vzorového tvaru hledání hranice.

3 Vyhodnocovací algoritmy

3.1 Postup řešení u sklapovacího terče metodou odečtení

3.1.1 Převod barevného snímku na černobílý

U barevného snímku každý pixel obsahuje třírozměrnou informaci o barvě. Tvorbu černobílého obrazu docílíme převodem třírozměrné matice barev (RGB) na matici jednorozměrnou. Tato matice ponese informaci o složce jasu. Barevný snímek před a po střelbě ukazuje obr. 3.1 a obr. 3.2. Snímky po převedení jsou vyobrazeny na obr. 3.3 a na obr. 3.4.



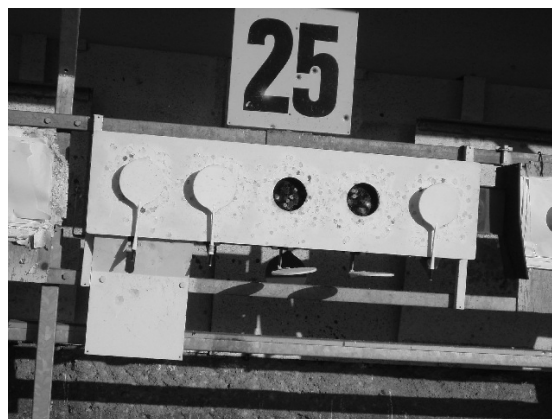
Obr. 3.1 – Barevný snímek terče před střelbou



Obr. 3.2 – Barevný snímek terče po střelbě



Obr. 3.3 – Černobílý snímek terče před střelbou

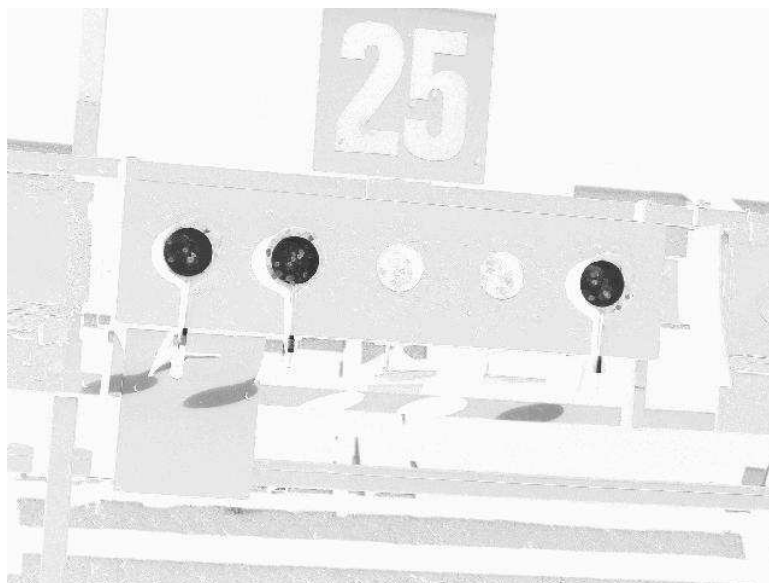


Obr. 3.4 – Černobílý snímek terče po střelbě

Na snímcích po převedení je viditelné, že rozdíl jasů mezi sestřelenými a nesestřelenými terči je značný. Pro vyhodnocení rozdílů ve snímcích se hodí následující metoda.

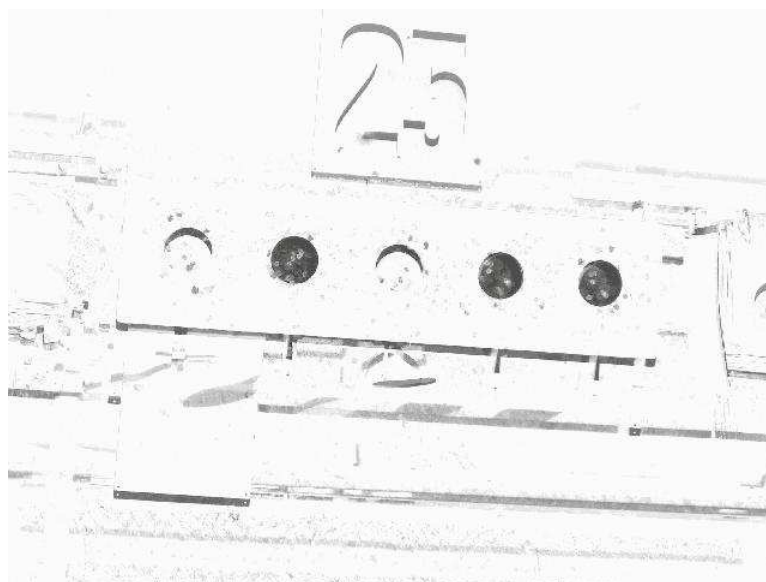
3.1.2 Odečtení snímků

Odečtením snímků pořízených před a po střelbě jsou získány obrazy bílých klop, které překrývají tmavé otvory sestřelených terčů.



Obr. 3.5 – Obraz po odečtení snímku před a po střelbě

Na obr. 3.5 (barvy invertovány kvůli tisku) jsou vidět výrazně vystupující černé klogy, které překryly bílé otvory. Znatelný je obrys čísla nad terčem i celé okolí terče. Důvodem tohoto prokreslení je změna světelných podmínek mezi oběma snímky. I z tohoto důvodu jsou vidět nyní tmavé stíny černých klop sestřelených terčů. Před pořízením snímku po střelbě nedošlo k žádnému znatelnému posunu stativu, a proto jsou černé klogy na obr. 3.5 jednoznačně rozlišitelné od dalších částí terče, resp. jako jediné z terče vystupují s velmi nízkým jasnem. V praktickém využití se může stát, že dojde buď k nepatrné manipulaci se stativem, příp. s terčem. Jak bude vypadat rozdíl snímků po mírném vychýlení stativu ukazuje obr. 3.6.

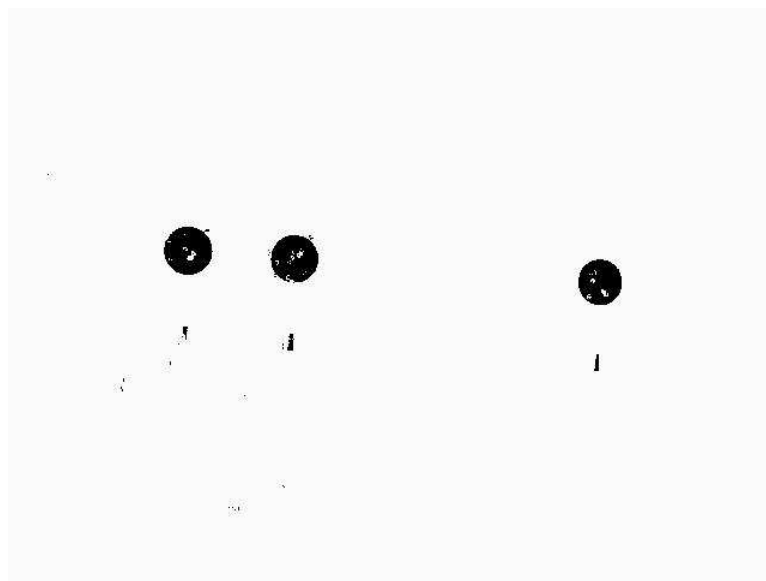


Obr. 3.6 – Obraz rozdílů snímků po mírné manipulaci se stativem

Ukazuje se, že z obrazu kromě černých klop dále vystupují obrysy čísla nad terčem, měsícové útvary v horní polovině nesestřelených terčů a také dolní hrana terčové soustavy.

3.1.3 Segmentace prahováním

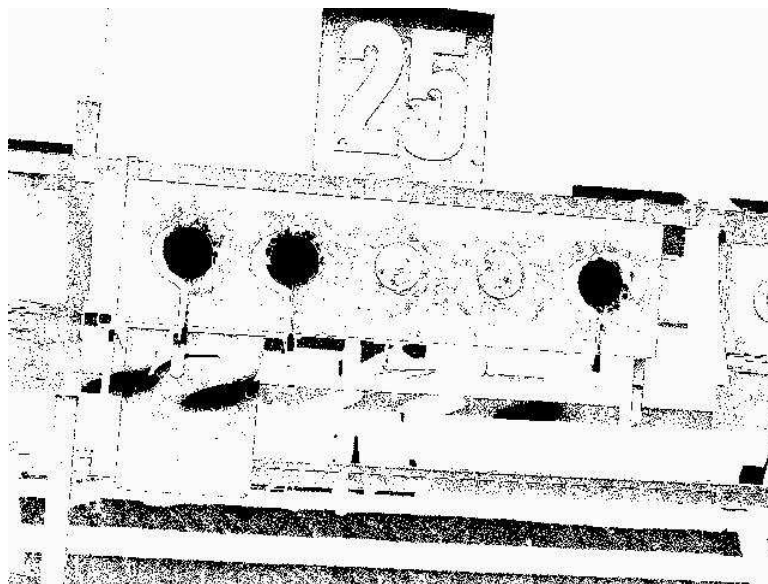
Z důvodu získání binárního obrazu, se kterým bude dále pracováno, je snímek prahován. Pokud je zvolen vhodný práh, prahování části obrazu, které nesouvisí s objekty, odstraní. Prahovaný snímek s vhodně užitým prahem ukazuje obr. 3.7.



Obr. 3.7 – Prahovaný snímek s vhodným prahem

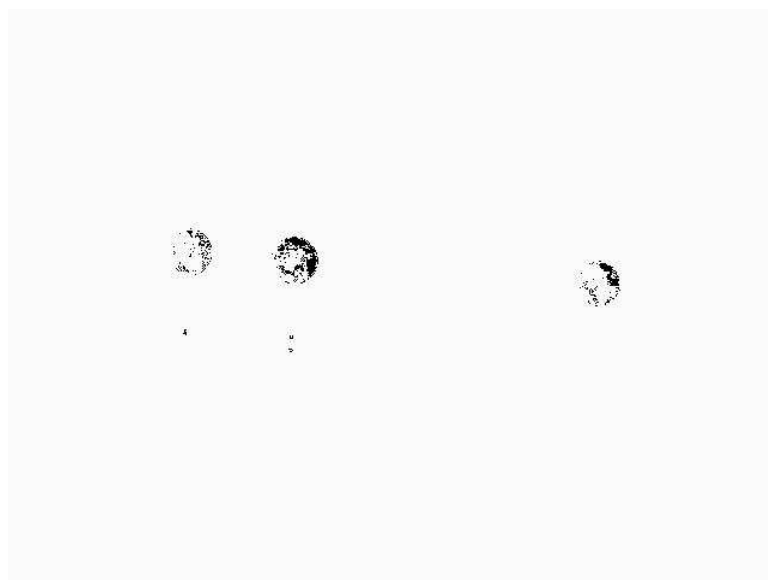
Na obr. 3.7 jsou dobře viditelné tři kruhové objekty. Obrázek obsahuje značné množství děr v oblasti objektů. Současně zůstaly viditelné i ty části obrazu, které nesouvisí s objekty.

Pokud je zvolen nevhodný práh, značně se tím zkomplikují další operace se snímkem. Nevhodně, příliš nízko zvolený práh je vidět na obr. 3.8. Na tomto obrázku jsou viditelné nejen černé klogy, ale i stíny těchto klog před stělkou. Tento obr. je nevhodný pro další zpracování, jelikož objekty jsou i ty části obrazu, které měly zůstat v pozadí.



Obr. 3.8 – Prahovaný snímek s příliš nízko zvoleným prahem

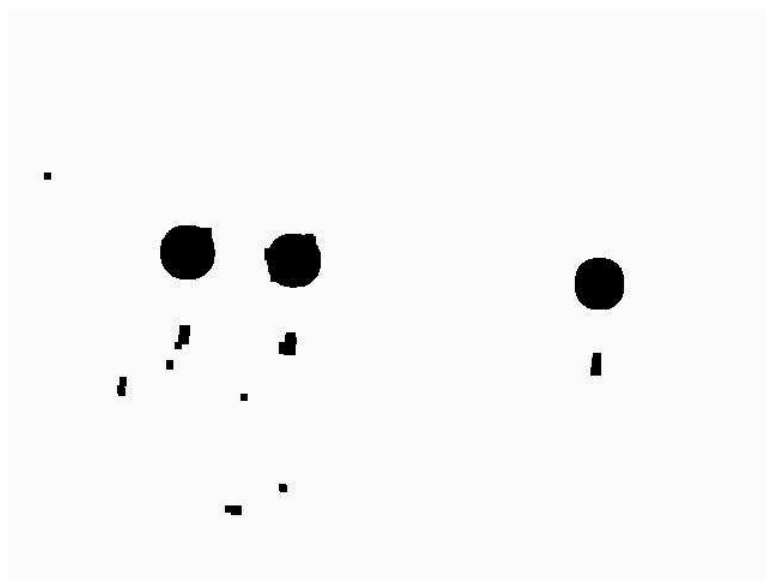
Podobně nevhodně byl zvolen práh u obr. 3.9. Zde byl práh nastaven příliš vysoko a tudíž jsou objekty prolezlé velikým množstvím děr.



Obr. 3.9 – Prahovaný snímek s příliš vysoko zvoleným prahem

3.1.4 Odstranění děr v objektech

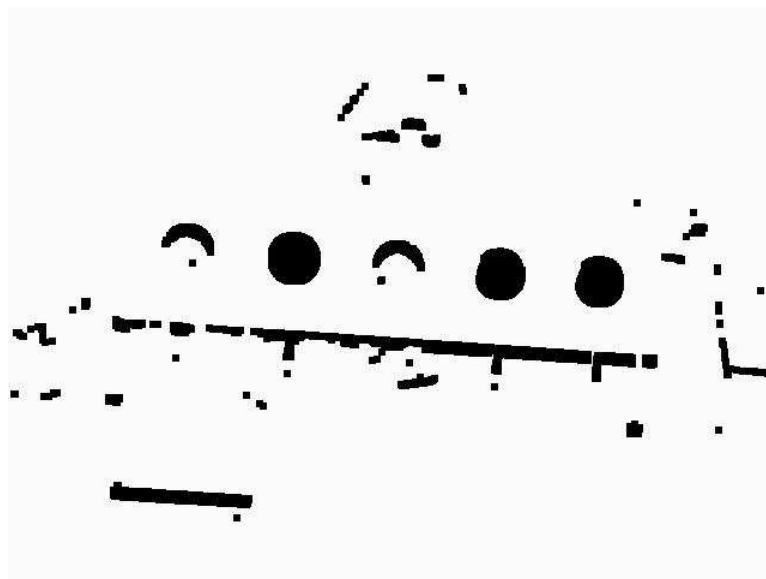
Na prahovaném obrázku (obr. 3.7) se v oblasti černých klop objevují díry. Ty značně narušují celistvost jednotlivých objektů. Proto je vhodné je odstranit dilatací s vhodným strukturním elementem. Strukturní element musí být dostatečně velký, aby došlo k vyplnění děr. Zároveň musí být dostatečně malý, aby zbytečně nezvětšoval oblasti, které přímo nesouvisí s objekty, pod terčí a nedošlo k případnému slití těchto oblastí.



Obr. 3.10 – Objekty po dilataci

Na obr. 3.10 lze pozorovat, že díry byly zaceleny a parazitní oblasti se příliš nezvětšily. Použitý strukturní element lze považovat za vhodný.

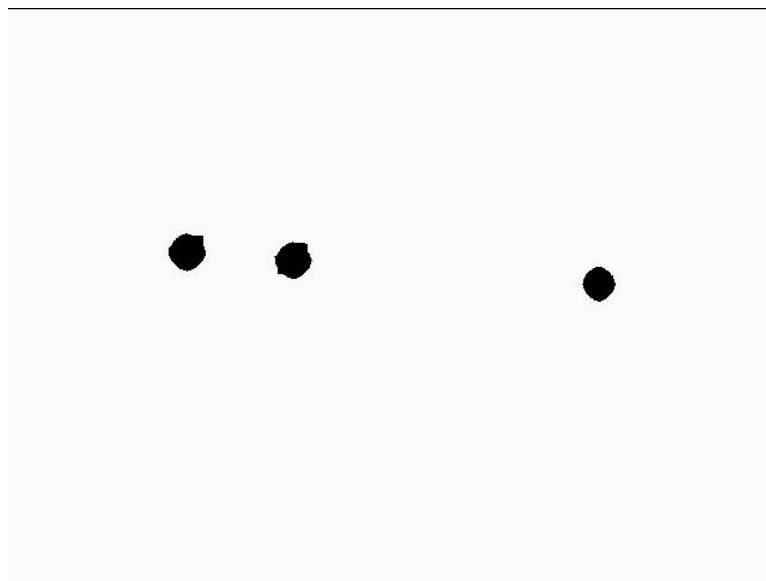
Nyní bude ukázáno, jak vypadá situace u snímku, kde došlo k mírnému posunu stativu. Naposledy byl tento snímek zobrazen na obr. 3.6. Po prahování a dilataci se stejným strukturním elementem jako u předchozího snímku vypadá situace následovně. V obraze je patrný značný nárůst šumu. Některé části obrazu, které přímo nesouvisí s objekty, se slily ve větší parazitní oblasti (obr. 3.11).



Obr. 3.11 – Posunutý snímek po dilataci

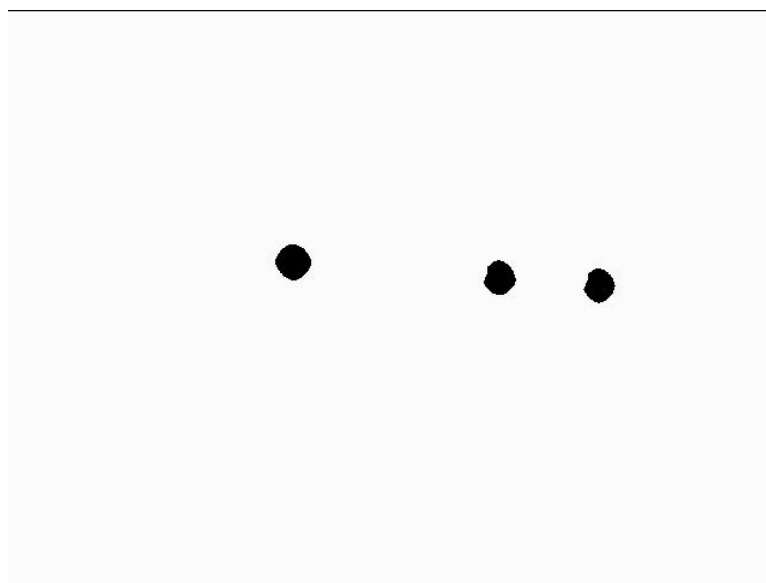
3.1.5 Eroze

Pro odstranění oblastí, které nesouvisí s objekty, je vhodné erodovat snímek větším strukturním elementem než v případě dilatace. Pokud by byl použit stejný strukturní element, došlo by k transformaci uzavření. Odstranily by se díry v objektech, ale parazitní oblasti v okolí terčů by zůstaly. Proto je potřeba erodovat s větším elementem, čímž jsou primárně odstraněny oblasti, které s objekty nesouvisí, a sekundárně zmenšeny objekty zasažených terčů. Snímek po eroze ukazuje obr. 3.12.



Obr. 3.12 – Snímek po erozi

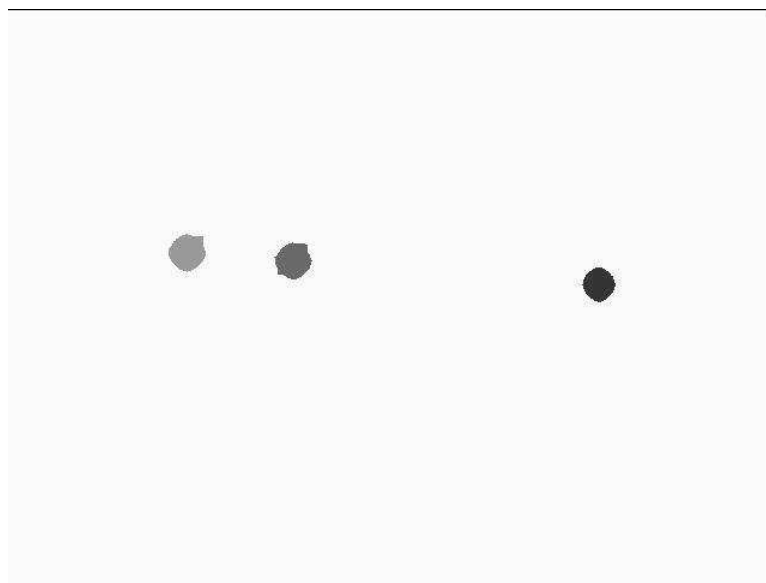
Stejným strukturním elementem byl provedena eroze s posunutým snímkem. Výsledek této operace je patrný na obr. 3.13. Stejně jako u předcházejícího snímku jsou odstraněny oblasti, které s objekty nesouvisí, a jako objekty zůstaly pouze zasažené terče. Z toho lze vyvodit závěr, že malé posunutí, ať už stativu či samotného terče, neohrozí výsledek rozpoznání. Je nutné však s touto variantou dopředu počítat a strukturní element pro erozi patřičně zvětšit. Sekundární jev v podobě znatelného zmenšení objektů nijak v další práci nevadí. Musí se pouze zaručit, aby eroze neohrozila existenci samotných objektů spadlých terčů.



Obr. 3.13 – Posunutý snímek po erozi

3.1.6 Identifikace sestřelených terčů

Sestřelené terče je nutné pro další rozpoznání od sebe odlišit. Nabízí se užít metodu barvení oblastí. Každá rozpoznávaná oblast dostane jedinečnou barvu. Ukázka barvení je na obr. 3.14. Pro ilustraci jsou jednotlivé barvy oblastí vynásobeny 50x, jinak by barvení nebylo patrné. Barvení objektů je přípravou pro výpočet těžiště jednotlivých oblastí.



Obr. 3.14 – Snímek s obarvenými objekty

3.1.7 Výpočet těžiště oblastí

Protože jsou jednotlivé oblasti (objekty) od sebe barvením rozlišeny, je možné pro každou oblast (barvu) vypočítat těžiště dané oblasti. Pro zpětnou kontrolu jsou těžiště oblastí zakresleny červenou barvou do původního terče (obr. 3.15). Počet oblastí je vyjádřením počtu zasažených terčů. V biatlonu se úspěšnost střelby vyjadřuje počtem nezasažených terčů (viz. tabulka 1.3).

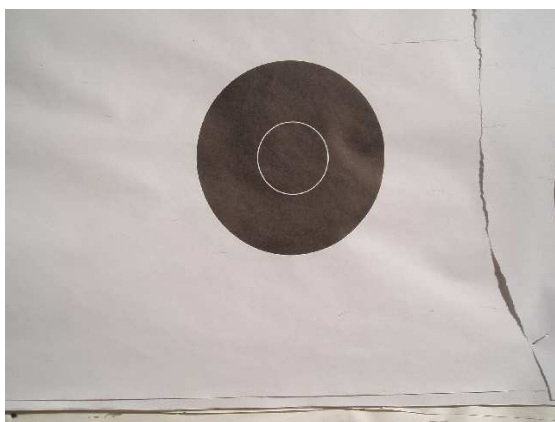


Obr. 3.15 – Výsledné zobrazení terče se zakreslením zasažených terčů

3.2 Postup řešení u papírového terče

3.2.1 Převod barevného snímku na černobílý

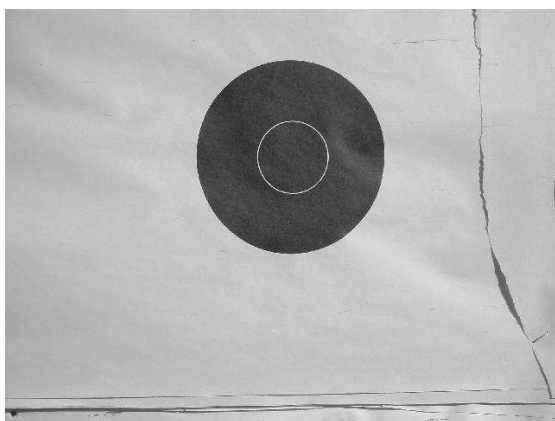
Převod barevného snímku na černobílý je proveden stejně jako u sklapovacího terče. Snímky po převedení ukazují obr. 3.18 a obr. 3.19.



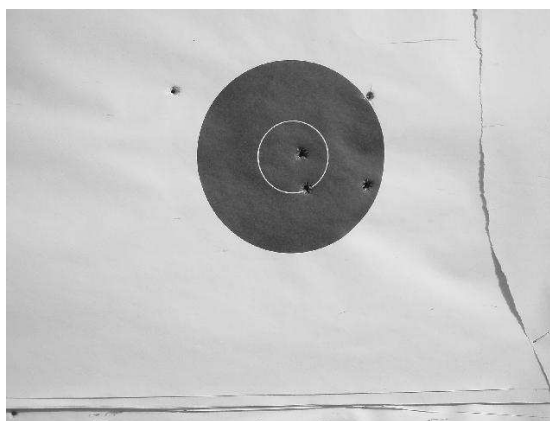
Obr. 3.16 - Barevný snímek terče před střelbou



Obr. 3.17 – Barevný snímek terče po střelbě



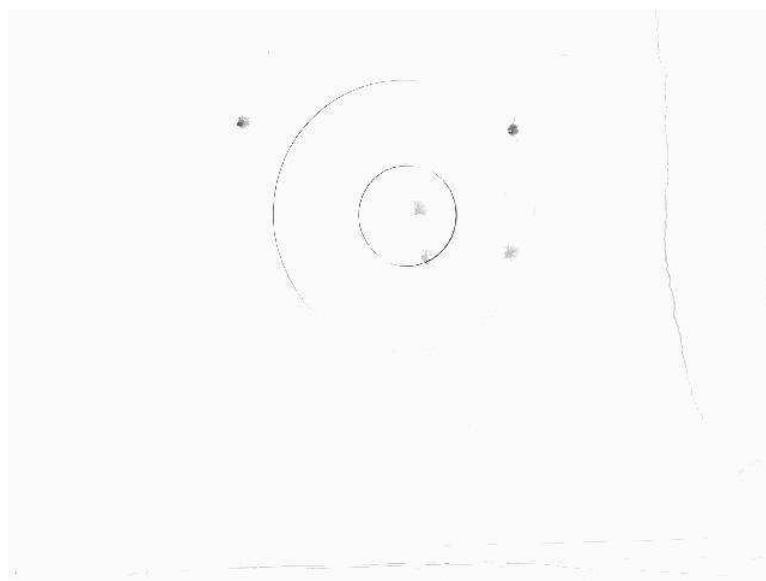
Obr. 3.18 – Černobílý snímek terče před střelbou



Obr. 3.19 – Černobílý snímek terče po střelbě

3.2.2 Odečtení snímků

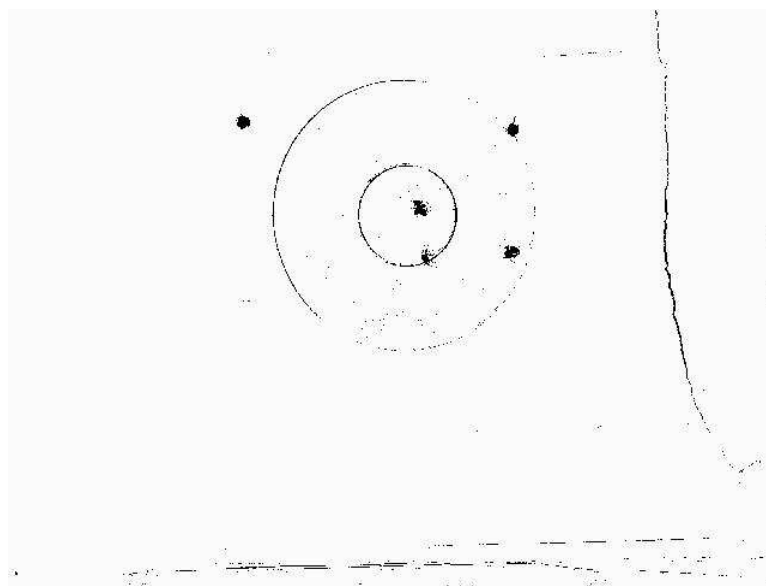
Nalezení zásahů v papírovém terči je opět realizováno pomocí metody odečtení snímků po a před střelbou. Zatímco u sklapovacího terče byl odečítán snímek před střelbou snímkem po střelbě, u papírového terče je tomu přesně opačně. To je zapříčiněno tím, že zásahy v terči trhají papír a zůstává po nich černá díra s minimálním jasem. Odečtením téměř nulové hodnoty jasu od nenulové hodnoty jasu je získán výsledný jas. Pokud byl zasažen terč v bílém okolí černého kruhu, je hodnota jasu poměrně vysoká a snadno i pouhým okem rozpoznatelná od pozadí. Horší je situace při zásazích do černého kruhu. Jelikož černá barva kruhu má velice nízké hodnoty jasu, je po odečtení výsledný jas také dost nízký a hůře rozpoznatelný (viz. obr. 3.20). Pro potřeby tisku jsou opět barvy následujících obrázků invertovány.



Obr. 3.20 – Obrázek po odečtení snímku před a po střelbě

3.2.3 Segmentace prahováním

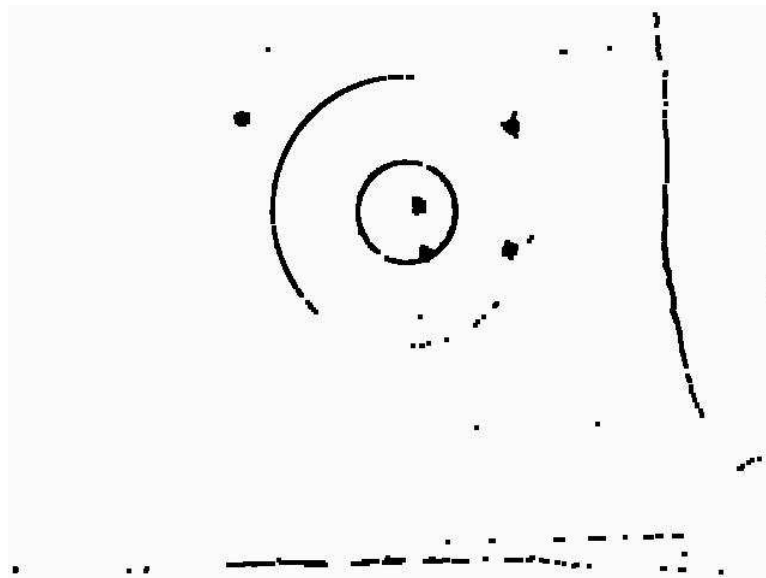
Oproti snímku sklapovacího terče, kde byl práh stanoven přibližně v polovině jasového rozsahu, je práh u tohoto snímku značně nižší a leží cca v desetíně jasového rozsahu. Práh musí být velice citlivě nastaven. Je potřeba docílit toho, aby každý pixel patřící k zásahům byl přiřazen k množině objektů. Dále je nutné zajistit, aby případná změna světelných podmínek mezi snímky před a po střelbě nezahrnula pixely nezasažené střelbou mezi objekty. Tato situace může nastat především v případě, kdy je snímek před střelbou pořízen za vyšší viditelnosti (např. při přímém slunečním svitu), než snímek po střelbě. Binární snímek s vhodným prahem je na obr. 3.21.



Obr. 3.21 – Prahovaný snímek papírového terče

3.2.4 Dilatace papírového terče

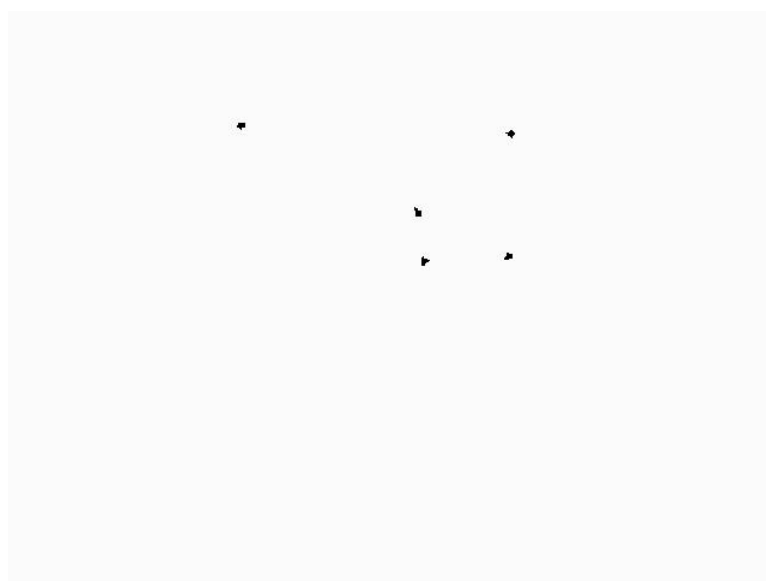
Prahovaný snímek má v objektech značné množství děr. Cílem je zacelení těchto děr a slití objektů do celistvých útvarů. Toho lze dosáhnout dilatací prahovaného snímku. Opět je velice důležitá velikost a tvar strukturního elementu. Jelikož pracujeme s kruhovými objekty, je vhodné použít izotropický strukturní element. Velikost strukturního elementu by měla být minimálně taková, aby z objektů vymizely díry. Zároveň by ale neměla být větší, než je nezbytně nutné. Nadbytečná velikost zvětšuje a spojuje porazitní oblasti a činí je pozdějšími operacemi hůře odstranitelnými. Snímek po dilataci je na obr.3.22.



Obr. 3.22 – Dilatace snímku papírového terče

3.2.4 Eroze papírového terče

Erozí je dosaženo odstranění oblastí, které nesouvisí s objekty. Z obr. 3.22 je dobře vidět, že strukturní element použitý pro erozi, bude muset být dostatečně velký. Je nutné se zbavit veškerých objektů, které nepatří pixelům pod zásahy. Eroze musí být taková, aby výsledek po ní vypadal přibližně jako na obr. 3.23. Musí dojít k odstranění všech oblastí, které nesouvisí s objekty, ale zároveň musí být zachován počet a umístění objektů pod zásahy.



Obr. 3.23 – Eroze snímku papírového terče

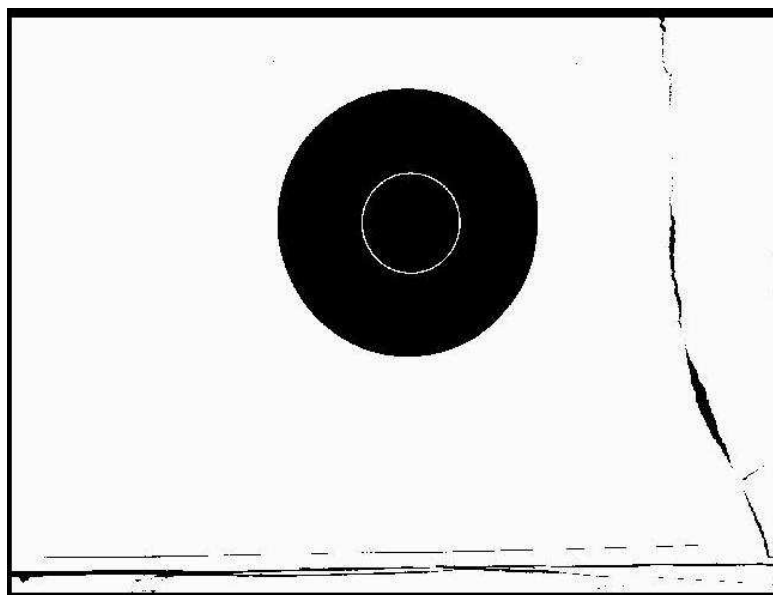
3.2.5 Identifikace a výpočet těžiště zásahů

Barvení oblastí slouží k odlišení jednotlivých zásahů. Ke každé oblasti přísluší jiná barva. Podle barev jsou oblasti od sebe odlišené, tudíž můžeme snadno pomocí těžiště vypočítat středy jednotlivých zásahů.

3.2.6 Hledání středu terče

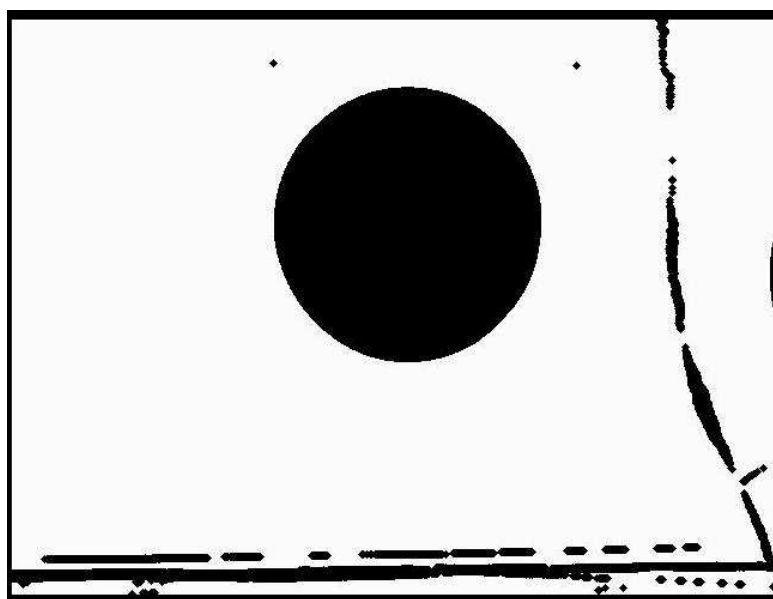
Cílem práce je nejen nalezení zásahů v terči, ale i patřičné bodové ohodnocení. K tomu, aby se dalo ohodnocení realizovat, je zapotřebí znalost vzdálenosti zásahů od středu terče.

První krok, který je dobré učinit, je rozhodnutí, že hledání bude realizováno v terči před střelbou. Takto bude postupováno především proto, že případný zásah v těsné blízkosti černého kruhu by mohl po morfologických úpravách splynout s černým terčem. Následně by při počítání těžiště došlo k odchylce mezi skutečným a vypočítaným středem.



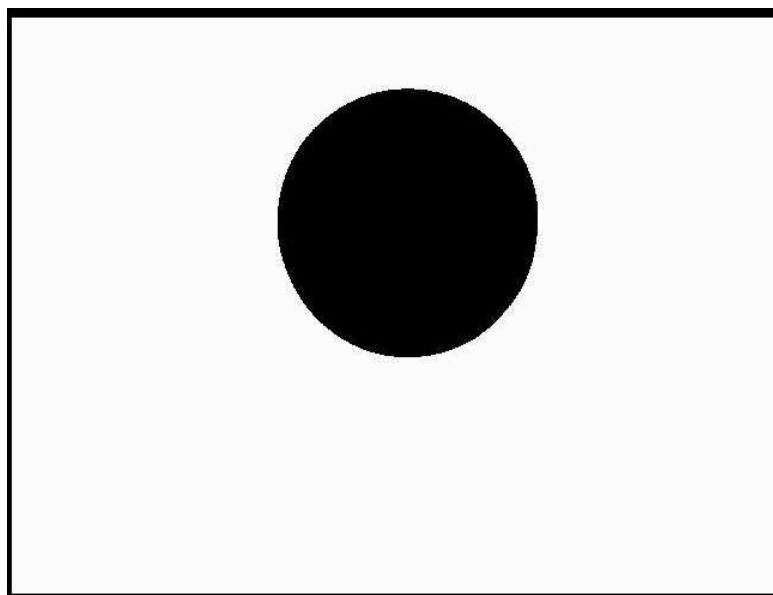
Obr. 3.24 - Prahovaný terč před střelbou

Nejprve je potřebný binární obraz snímku před střelbou. Z toho důvodu je snímek prahován. Mezi černým kruhovým terčem a okolím je značný jasový rozdíl, tudíž práh je volen přibližně do poloviny jasového rozsahu. Jak ukazuje obr. 3.24, v černém terči vzniklo po prahování bílé mezikruží. Toto mezikruží je pro další zpracování nežádoucí. Dilatací se mezikruží zalije a terč nabude celistvosti (obr. 3.25).



Obr. 3.25 - Dilatovaný terč před střelbou

Po dilataci je možné snímek erodovat mnohem větším strukturním elementem. Jako objekt zůstane pouze terč a okolí se slije s pozadím. Nebo se nabízí možnost erozi použít iterativně se stejným strukturním elementem, jako byla provedena dilatace. Výhoda tohoto postupu je v tom, že takto erodovaný snímek bude dále použitelný ke zjištění průměru terče.



Obr. 3.26 - Erodivaný terč před střelbou

Po erozi by měl být objektem pouze terč (obr. 3.26). Poté už je snadné vypočíst těžiště terče, čímž se získají souřadnice jeho středu.

3.2.7 Hledání průměru terče

Díky tomu, že jsou známé souřadnice jednotlivých zásahů, a z předcházející kapitoly i střed terče, je možné určit vzdálenost zásahů od středu terče. Tato vzdálenost je však vyjádřena pouze v pixelech. Aby bylo možné zásahům přidělit body podle vzdálenosti od středu terče, je potřeba znát průměr terče v pixelech.

Využitelné jsou morfologické operace provedené v předcházející kapitole. Připomeňme, že snímek terče před střelbou prošel dilatací a dvakrát erozí. Pokud snímek poté projde ještě dilatací, je vytvořena tato sekvence: Dilatace, eroze, eroze, dilatace. Protože všechny operace jsou provedeny se stejným strukturním elementem, lze tuto sekvenci popsat transformací uzavření následované otevřením. Z kapitoly 2.3.3 je známo, že otevřením a uzavřením se tvar ani velikost objektů nemění. Je možné tedy předpokládat totožnou velikost terče po provedení těchto transformací i před nimi. Další postup je založen na znalosti souřadnic středu terče. Je vybrána například souřadnice X středu terče. Obrázek je procházen po řádcích a po X -té souřadnici a hledána je Y souřadnici první nenulové hodnoty, která značí okraj terče. Po nalezení je odečtena tato

Y souřadnice kraje terče a Y souřadnice středu terče. Tímto postupem lze dosáhnout průměru terče v pixelech.



Obr. 3.27 – Papírový terč se zakresleným středem, okrajem terče a zásahy

Pro kontrolu je na obr. 3.27 vykreslený modře okraj terče. Červeně je vyznačen střed terče a zeleně jsou vyznačeny jednotlivé zásahy. Je patrné, že modrá značka figuruje na samém okraji terči a tudíž hledání kraje terče bylo úspěšné. Totéž lze říci i o středu terče a jednotlivých zásazích.

3.2.8 Bodové ohodnocení zásahů

Body jednotlivým zásahům je možné přiřadit na základě poměru vzdálenosti zásahu od středu terče a poloměru terče. Přepočítané poměrové vzdálenosti ukazuje tabulka 3.1.

Tab. 3.1 – Body na základě poměrové vzdálenosti

Bodovaný kruh	Poměrová vzdálenost		Bodovaný kruh	Poměrová vzdálenost
kruh 10	0,0925		kruh 5	0,8043
kruh 9	0,2349		kruh 4	0,9466
kruh 8	0,3772		kruh 3	1,089
kruh 7	0,5196		kruh 2	1,2313
kruh 6	0,6619		kruh 1	1,3737

$$\frac{\text{Vzdálenost zásahu od středu terče}}{\text{Poloměr terče}} = \text{Poměrová vzdálenost} \quad (3.1)$$

Bodové ohodnocení zásahů se při sportovní střelbě i při biatlonu neurčuje podle toho, kde se nachází střed zásahu. Podstatný je okraj zásahu na nejbližší straně u středu terče. Bodová hodnota zásahu tedy přísluší nejvyšší bodové hodnotě kruhu, který okraj zásahu protíná. V našem případě máme počítán poměr od středu zásahu, proto je nutné odečíst od poměru poloměr zásahu.

U malorážních zbraní se používá ráže střeliva 5,6 mm, čili zásah do papírového terče trhá papír o přibližně tomto průměru. Pro bodové ohodnocení zásahu je nutné od poměru vzdáleností středu zásahu a středu terče odečíst poměrovou vzdálenost poloměru zásahu. Výpočet je znázorněn následujícím vzorcem.

$$P = \frac{\text{ráže střeliva}}{\text{průměr terče} \times 2} = \frac{5,6}{112,4 \times 2} \doteq 0,02491 \quad (3.2)$$

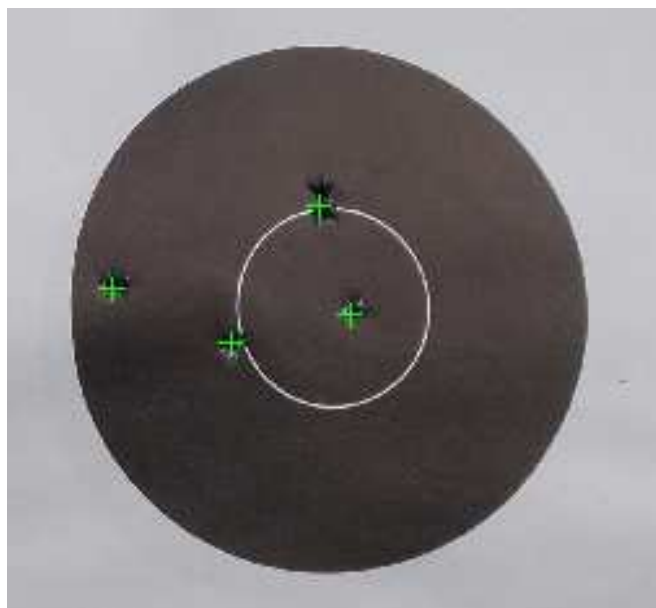
Kde P je vyjádřením poměrové vzdálenosti poloměru zásahu k průměru terče.

3.2.9 Kriteria omezující rozpoznávání

Rozpoznávání zásahů v papírovém terči má určitá specifika, která je nutné dodržet, a zároveň za určitých okolností je přesnost rozpoznávání omezena. Základní podmínkou pro správné vyhodnocení je minimální, nejlépe žádné posunutí mezi snímky před a po střelbě. Citlivost na posunutí je dána především velikostí průměrů zásahů vzhledem k velikosti vyhodnocované oblasti.

Další omezení představují mimořádné jasové výkyvy mezi jednotlivými snímky. V běžných podmínkách se takových výkyvů není třeba obávat. Riziko by nastalo např. při tréninku, kdy se přechází z normálního osvětlení na umělé. Pokud by snímek před střelbou byl pořízen za normálního osvětlení, a snímek po střelbě za umělého osvětlení, s velkou pravděpodobností by, vlivem nerovnoměrného nasvícení umělým osvětlením a značnou změnou jasu, algoritmus rozpoznání zkolaboval.

Omezujícím faktorem je blízkost jednotlivých zásahů, resp. jejich částečný překryv. Protože vyhodnocovací algoritmus je založen na identifikaci oblastí, u překrývajících se zásahů je identifikována pouze jedna oblast (namísto dvou). Podobná situace nastává u zásahů, které jsou v těsné blízkosti. To je zapříčiněno sledem jednotlivých morfologických operací, kdy je prahovaný rozdílový snímek nejprve dilatován, aby se odstranily díry z objektů. Ačkoli je dilatace prováděna s velmi malým strukturním elementem, při těsné blízkosti zásahů dochází k slití objektů zásahů. Takto slitá oblast je poté identifikována stejně jako u překrývajících se zásahů (viz obr. 3.28 – horní zásahy). K podobným problémům s identifikací a bodovou klasifikací zásahů dochází i při klasickém vyhodnocení, tzn. že i při normálním vyhodnocení „pouhým okem“ je u překrývajících se zásahů identifikace nejednoznačná a komplikovaná. U sportovní střelby je vše vyřešeno tím, že se střílí pouze jedna rána do jednoho terče. U biatlonu není bodová klasifikace zásadní, a proto se běžně střílí pět i více ran do jednoho terče. Smyslem biatlonové střelby do papírového terče, jak již bylo uvedeno, je především nástřel zbraně před tréninkem či závody. Pokud se v terči těsné nebo překrývající se zásahy vyskytnou, je nutné počítat s neúplným bodovým součtem a s mírnou odchylkou spočítaného centroidu od toho reálného. Rovněž doporučená korekce mířidel může vykazovat určitou chybovost.



Obr. 3.28 – Výřez nesprávně identifikovaných zásahů

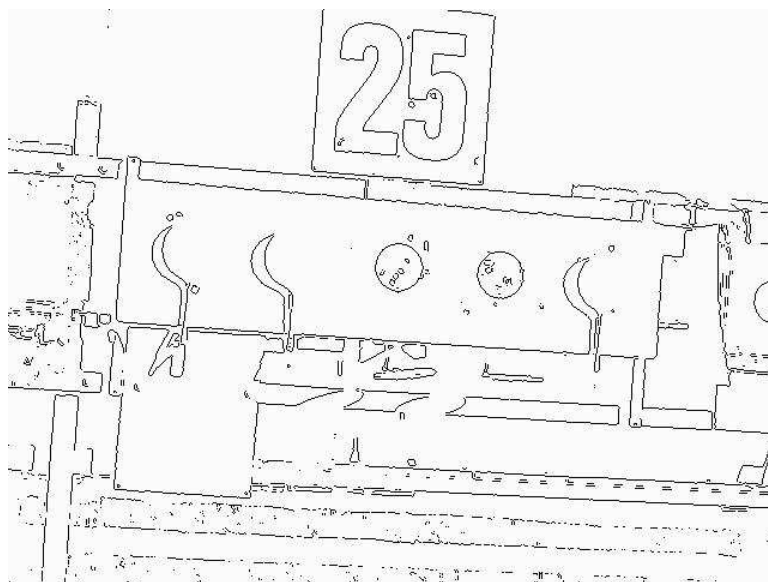
3.3 Postup řešení u sklapovacího terče Houghovou transformací

V této části je věnována pozornost vyhodnocení pomocí Houghovy transformace. Podrobným návrhem algoritmů pro rozpoznávání pomocí této transformace se zabýval [10]. Jeho práce je základním kamenem této kapitoly. Účelem je snaha pokusit se potvrdit příp. vyvrátit použitelnost transformace resp. určit podmínky za jakých je realizace rozpoznání možná.

3.3.1 Použití hranového detektoru

Použitím hranového detektoru a následné segmentace lze získat hrany objektů. Rozhodnutí, který hranový detektor použít, může mít zásadní vliv na korektnost vyhodnocení. Z testování založeného na odstupu signálu od šumu, v tomto případě na odstupu četnosti průměrů terče od okolí v akumulátoru, byl sestaven žebříček jednotlivých detektorů. Nejlepší odstup v četnosti zaznamenaly detektory Sobelův a

Prewittův. U těchto dvou se odstup shodně blížil hranici 30 %. Dalším testovaným byl Cannyho hranový detektor. Jeho odstup se pohyboval v rozmezí 15-20%. Z těchto příčin byly pro hranování doporučeny detektory Sobelův a Prewittův. Výstup ze Sobelova detektoru po segmentaci je na obr. 3.29.



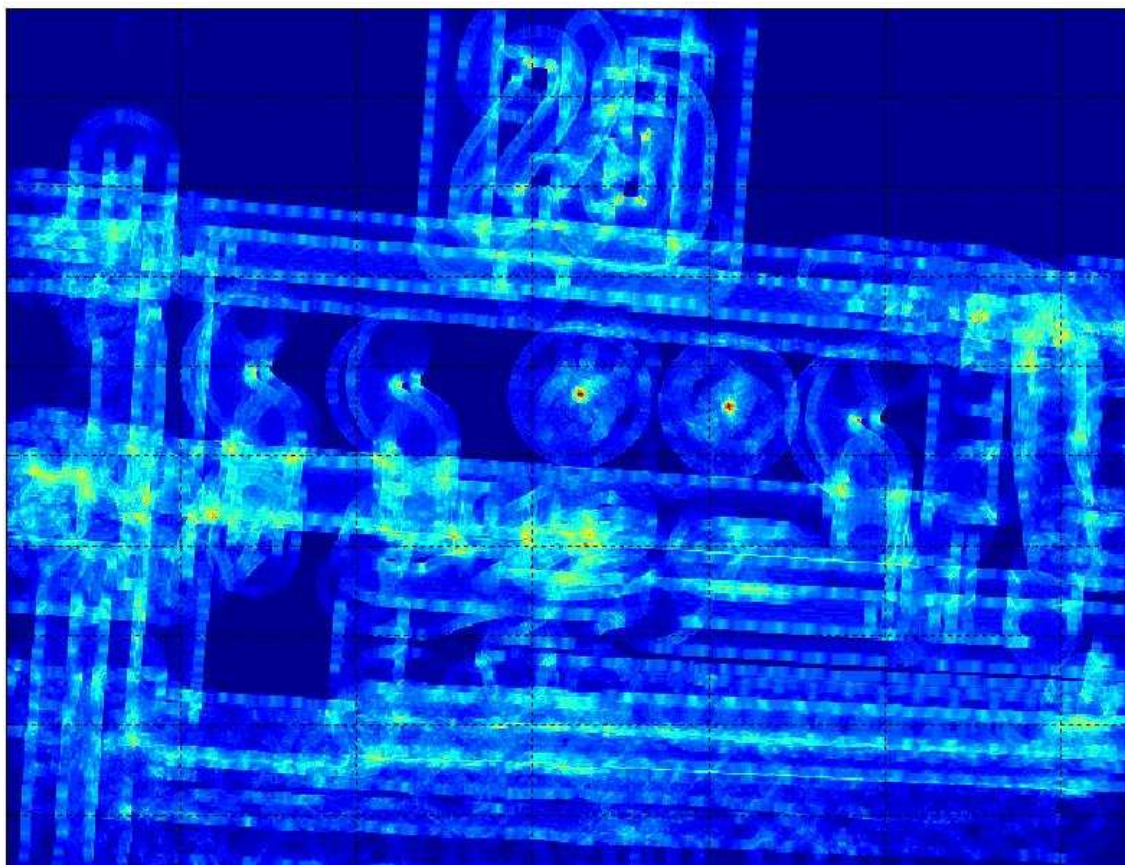
Obr. 3.29 – Snímek terče po průchodu hranovým detektorem

Jak je uvedeno v 2.6.1, rychlost a přesnost vyhodnocení je nepřímo úměrně závislá na množství pixelů příslušejícím k objektům. Z tohoto důvodu je použití hranového detektoru mnohem výhodnější než pouhé naprahování obrázku.

3.3.2 Houghova transformace

Po hranování jsou vidět částečné kružnicové objekty, kromě nezasažených terčů, i v místech zasažených terčů a v číslech nad terčem. Mimo jiné se můžou mírné problémy vyskytnout u hran pod terčem. Z těchto důvodů je dobré omezit hledané poloměry kruhových objektů předpokládaným rozsahem poloměrů.

Průchodem Houghovou transformací akumulátor terče vypadá jako na obr. 3.30.



Obr. 3.30 – Snímek akumulátoru

Barevné zobrazení akumulátoru odpovídá četnosti hodnot v akumulátoru. Přičemž tmavě modrá značí minimální četnost, tmavě červená značí vysokou četnost. Závislost barevného zobrazení na četnosti je na obr. 3.31.



Obr. 3.31 – Barevná stupnice závislosti na četnosti

Ze snímku akumulátoru je patrná nejvyšší četnost v místě nesestřelených terčů. Poměrně vysoká četnost je vidět v místě čísla nad terčem a také na hranicích terčového stavu. Vzhledem k tomu, že četnost v místě středu nesestřelených terčů je přibližně o 1/3 větší než v okolních oblastech s nejvyšší četností, lze oblasti nesestřelených terčů od ostatních poměrně jednoduše odlišit.

Na základě znalosti středu nesestřelených terčů z akumulátoru je můžeme vykreslit do původního snímku po střelbě (obr. 3.32).



Obr. 3.32 – Zobrazení nezasažených terčů

Závěr

V rámci diplomové práce byly testovány dvě metody pro zpracování a rozpoznávání zásahů v biatlonovém terči. Jak metoda odečítání snímků tak i Houghova transformace řešily rozpoznávání s velmi vysokou přesností.

U metody odečítání snímků i při výrazných změnách jasů u snímků před a po střelbě nedocházelo k nárůstu chybovosti. Metoda rovněž dobře odolávala mírnému posunutí mezi snímky před a po střelbě. Menší nevýhodou metody odečtu snímků je nutnost pořízení snímku před zahájením střelby. Tento snímek je však použitelný pro celou sadu snímků po střelbě na totožném střeleckém stanovišti, tudíž obsluhu programu neobtěžuje neustálým zaváděním. Metoda vyhodnocovala zásahy se 100% úspěšností.

Houghova transformace má oproti metodě odečítání snímků výhodu v podobě zpracování zásahů pouze ze snímku po střelbě. Pokud byl na hranování použit algoritmus Sobelův nebo Prewittův, odstup v četnosti mezi terči a okolím byl dostatečný pro nalezení nesestřelených terčů. Obě metody se pro analýzu zásahů prokázaly jako vhodné.

Zpracování zásahů v papírovém terči bylo řešeno pouze metodou odečítání snímků, a vyžadovalo složitější rozpoznávací algoritmus. Nedosahovalo tak jednoznačné výsledky jako v biatlonovém terči. Vzhledem ke skutečnosti, že byly rozpoznávány černé rány na téměř černém pozadí terče, byl rozdíl jasů v místě zásahů poměrně nízký. Z toho důvodu způsobovaly mírné problémy vysoké jasové výkyvy mezi jednotlivými snímky. Problémy s rozpoznáním způsobovaly také překrývající nebo dotýkající se zásahy. Takovéto dva zásahy byly většinou vyhodnoceny jako jeden, nicméně i v běžném vyhodnocení je klasifikace překrývajících se zásahů nejednoznačná. Každý zásah byl bodově ohodnocen. Bodové ohodnocení zásahů odpovídalo skutečnosti velmi dobře. Ze všech zásahů byl počítán centroid. Na základě odchylky centroidu od středu terče byla doporučena korekce mířidel pro biatlonovou malorážní zbraň Anschütz.

Vzhledem k nízkým jasovým rozdílům v místě zásahů a okolí nebylo možné snímek patřičně prahovat, tudíž se dopředu vyloučila použitelnost Houghovy transformace.

Seznam literatury

- [1] KAŠPER, Z.: Historie biatlonu do konce dvacátého století. Brno. Masarykova univerzita, 2006.
- [2] ZICHÁČEK, M.: Řízení tréninkové přípravy biatlonistů na základě analýzy výsledků závodů v biatlonu. Disertační práce, Brno: MU Brno, 2004
- [3] HÚSKA, J.: Střelba v biatlonu. Diplomová práce. Praha: FTVS UK Praha, 1996.
- [4] DOSTÁL R.: Pravidla biatlonu, Pravidla závodů a soutěží IBU. [online].
[cit. 2007-11-10]. URL: <<http://www.czech-biathlon.com/pravidla/pravidla.doc>>
- [5] KAŠPER, Z. Branné závody. Praha: ÚV Svazu pro spolupráci s armádou, 1976
- [6] HLAVÁČ V., SEDLÁČEK M.: Zpracování signálu a obrazu, Skripta FEL ČVUT, Praha 2000, ISBN 80-01-02114-9
- [7] HLAVÁČ, V., ŠONKA, M. : Počítačové vidění, Grada, Praha, 1992,
ISBN: 80-85424-67-3
- [8] ŽELEZNÝ, M., Zpracování digitalizovaného obrazu, ZČU Plzeň.[online].
[cit 25-1-2008]. URL:<http://artin.zcu.cz/courses/zdo/ZDO_aktual_040416.pdf>
- [9] SUVA, M.: Pravidla sportovní střelby. [online]. [cit. 2007-12-5].
URL: <http://www.shooting.cz/pdf/PSS_ISSF_05_CZ.pdf>
- [10] HOŘČIČKA, J.: Rozpoznávání vláken v řezech přízí metodou analýzy obrazu. Diplomová práce, Liberec: FM TUL Liberec, 2005

Příloha – Popis a ovládání programu

Pro rozpoznání zásahů v terči byl vytvořen program za pomoci Microsoft Visual Studio 2005. V programu je realizováno rozpoznání biatlonových a střeleckých (papírových) terčů metodou odečítání snímků.

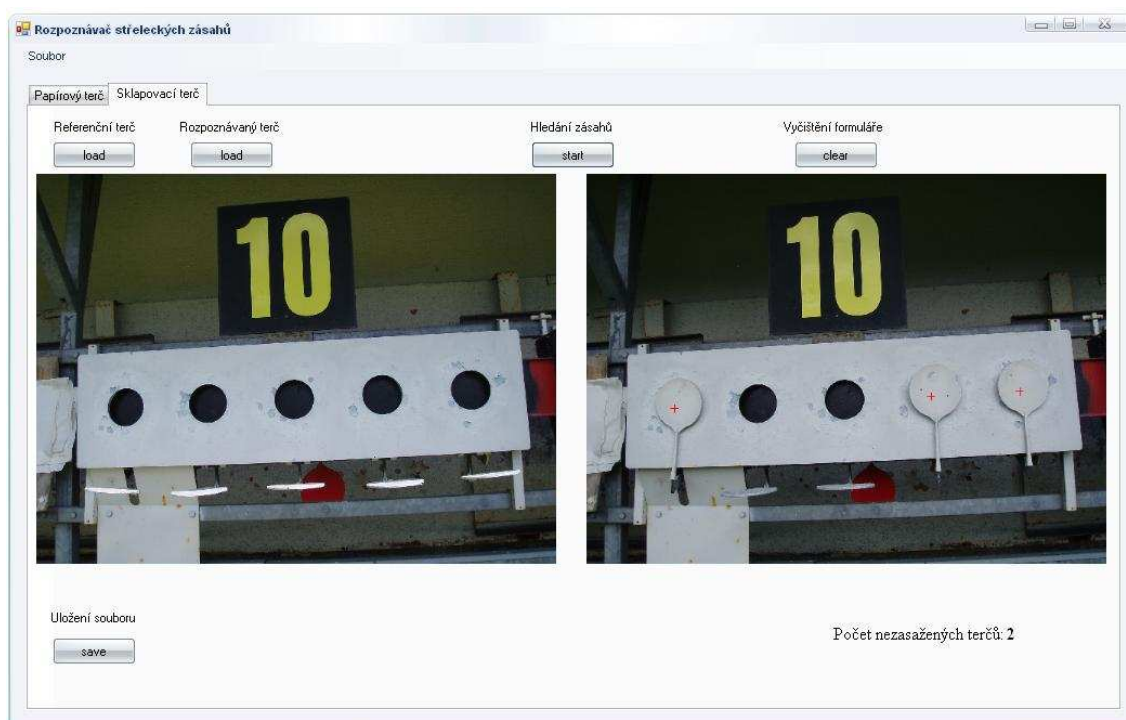
Samotný program je rozčleněn pomocí dvou záložek na práci s papírovými a sklapovacími terči. Načtení obrázků pro rozpoznání je realizováno tlačítky *load*, přičemž tlačítko pod textem *referenční terč* slouží k načtení obrázku terče před střelbou, a tlačítko pod textem *rozpoznávaný terč* slouží k načtení obrázku po střelbě. Referenční snímek je načten do levého pictureBoxu a rozpoznávaný terč je načten do pravého pictureBoxu.

Databáze snímků sklapovacích terčů je rozdělena na dvě podmnožiny. Každá podmnožina pracuje s jediným referenčním snímkem. Jeden referenční snímek má název *pred1* a ten je nutné rozpoznávat se snímky *po1_i* (7 snímků). Druhý referenční snímek má název *pred2* a ten je určen pro rozpoznávání se snímky *po2_j* (35 snímků). Databáze snímků papírových terčů tvoří páry snímků. V každém páru je snímek před střelbou a snímek po střelbě. Tvar snímku před střelbou je *predi* a tvar snímku po střelbě je *poi* (9 párů snímků).

Vlastní rozpoznání je možné zahájit tlačítkem *start* pod textem *hledání zásahů*. Výsledný snímek po rozpoznání se zobrazuje do pravého pictureBoxu. Po rozpoznání zásahů je možné výsledný snímek uložit. K tomu je určeno tlačítko *save* pod textem uložení souboru, případně je možné použít *uložit jako* v menu *soubor*. Pro vyčištění formuláře je určeno tlačítko *clear*. Stejnou funkci má v menu *soubor* podmenu *nový*. Pro dvě posledně jmenované funkce je také možné použít klávesové zkratky. Pro uložení Ctrl+S a pro vyčištění formuláře Ctrl+N. Program se ukončuje klasickou klávesovou zkratkou Alt+F4. Ukázky vyhodnocení programu jsou na obr. A a obr. B.



Obr. A – Ukázka vyhodnocení papírového terče



Obr. B – Ukázka vyhodnocení sklapovacího terče